

# Ruimtevaart

52e Jaargang, Nummer 1

Februari 2003

## Inhoud



**Columbia STS-107. In memoriam.** 2

**Galileo** 3

*Ir. M.O. van Pelt*

Galileo, het nieuwe Europese systeem voor satellietnavigatie, moet de onafhankelijkheid van Europa op dit gebied stimuleren en veel geld gaan opbrengen.



**World Space Congress** 7

*K. Rycek*

220 Studenten woonden, na selectie, op uitnodiging van de ESA het tiendaagse World Space Congress in Houston, Texas bij. Een verslag.



**Rosetta, Europa's komeetjager** 8

*Ir. J.F.M. van Gasteren*

Voor het eerst zal een ruimtevaartuig in een baan rond een komeet worden gebracht en een landingsvoertuig op een komeet landen.

**<http://www.ruimtevaart-nvr.nl>** 15

*Ir. J. van Es*

Een webwijzer over navigatie m.b.v. ruimtevaart.



**Groene stuwstoffen: ruimtevaart zonder hydrazine** 16

*Ir. H.M. Sanders*

Hydrazine is een uiterst giftige stuwstof die veelvuldig in de ruimtevaart wordt gebruikt. Er zijn echter meer redenen voor het zoeken naar alternatieve stuwstoffen.



**20° ... 30° ... Injection!** 19

*M.K.R.D.J. Claessens en L.J. Souverein*

Experimenteren in gewichtloosheid, wie wil dat niet? Vier studenten Lucht- en Ruimtevaarttechniek van de Technische Universiteit Delft deden het.



**Boekbespreking** 22

*Henk H.F. Smid*

Down to Earth, een boek uitgegeven door ESA, beschrijft het dagelijks gebruik van Europese ruimtevaarttechnologie.



**Ruimtevaartjournaal** 23

*Ir. A.C. Atzei, Dr. J.J. Blom, Ing. M.C.A.M. van der List en Ir. M.O. van Pelt*

Columbia en bemanning verloren – Shuttlevluchten opgeschort – Nederlandse experimenten verloren met Columbia – Belgische ESA astronaut vliegt naar het ISS – STS-113 – Nederlandse satelliet gelanceerd – Laatste Ariane 4 gelanceerd – Lancering van nieuwe Ariane 5 misluk – China lanceert vierde Shenzhou – Rosetta blijft achter – Taperecorder Galileo werkt weer.



**Lanceeroverzicht** 29

*Henk H.F. Smid*

Een overzicht van ruimtevaartlanceringen van 15 oktober 2002 t/m 29 december 2002.



Ruimteveer Columbia ging 15 minuten voor de geplande landing op 1 februari 2003 verloren. De zeven astronauten overleefden het uiteenvallen van het ruimteschip niet. De Nederlandse Vereniging voor Ruimtevaart heeft van haar medeleven doen blijken, zowel bij de nabestaanden als bij de verantwoordelijken voor het bemande ruimteveer programma. Omgekomen zijn (op de foto van links naar rechts):

**David M. Brown**, Missie specialist 1, 46 jaar. Hij was kapitein in de Amerikaanse marine (marinepiloot en vliegerarts). Hij werd in april 1996 door NASA geselecteerd en maakte zijn eerste ruimtevlucht.

**Rick D. Husband**, Commandant, 45 jaar. Hij was kolonel in de Amerikaanse luchtmacht. (testpiloot). Hij werd in december 1994 door NASA geselecteerd en maakte zijn tweede ruimtevlucht.

**Laurel B. Clark**, Missie specialist 4, 41 jaar. Zij was overste in de Amerikaanse marine (vliegerarts). Zij werd in april 1996 door NASA geselecteerd en maakte haar eerste ruimtevlucht.

**Kalpana Chawla**, Missie specialist 2, 41 jaar. Zij was luchtvaart ingenieur en vlieginstruenteur. Zij werd in december 1994 door NASA geselecteerd en maakte haar tweede ruimtevlucht.

**Michael P. Anderson**, Lading commandant, 43 jaar. Hij was overste in de Amerikaanse luchtmacht (testpiloot). Hij werd in december 1994 door NASA geselecteerd en maakte zijn tweede ruimtevlucht.

**William C. McCool**, Piloot, 41 jaar. Hij was overste in de Amerikaanse marine (testpiloot). Hij werd in april 1996 door NASA geselecteerd en maakte zijn eerste ruimtevlucht.

**Ilan Ramon**, Lading specialist 1, 48 jaar. Hij was kolonel in de Israëlische luchtmacht. Hij werd in 1998 door NASA geselecteerd en maakte zijn eerste ruimtevlucht.

**Met een kleine ontvanger overal ter wereld je plaats bepalen met een nauwkeurigheid van enkele meters, gegarandeerde signaalbetrouwbaarheid voor veilig en efficiënt transport, en een civiel, onafhankelijk en geavanceerd Europees systeem als basis hiervoor. Dat moet Galileo, het satellietnavigatie project van de Europese Unie en de Europese ruimtevaartorganisatie ESA, mogelijk gaan maken.**

## Nieuw en civiel

Het huidige satellietstelsel voor plaatsbepaling dat het meest wordt gebruikt, is het Amerikaanse *Global Positioning System*, GPS. Daarnaast is er ook een Russische systeem, dat Glonass heet. Het Glonass systeem wordt vanwege de economische problemen van Rusland echter niet goed onderhouden en is daardoor niet betrouwbaar meer. GPS heeft daarmee vrijwel een monopoliepositie veroverd. Europa wil echter in de nabije toekomst een eigen infrastructuur van navigatiesatellieten en grondstations opzetten dat onafhankelijk van GPS moet kunnen werken.

Waarom een nieuw, zelfstandig en duur systeem opzetten als er een beschikbaar is? Ten eerste is het tijdens de Koude Oorlog ontwikkelde GPS een militair systeem. Dit betekent dat civiele gebruikers geen prioriteit en weinig inbreng hebben in GPS en de beschikbaarheid van satellietnavigatie met dit systeem dus niet altijd gegarandeerd kan worden. Het GPS kan door de Amerikaanse strijdkrachten boven bepaalde gebieden zelfs opzettelijk geheel uitgeschakeld worden, zoals tijdens de Golfoorlog boven Irak gebeurde. Daarbij biedt GPS voor civiel gebruik maar een middelmatige precisie; afhankelijk van de locatie en het tijdstip van de meting soms slechts een nauwkeurigheid van enkele tientallen meters. Locaties in het hoge noorden hebben vaak last van slechte ontvangst van de GPS signalen, waardoor dit systeem daar niet betrouwbaar genoeg is voor de navigatie van vliegtuigen. Dit is een groot probleem, omdat er veel vliegtuigroutes over de Noordpool gaan. In gebieden met veel bergen, bomen en gebouwen is de ontvangst soms ook slecht. Storingen in de ontvangst van de satellietsignalen kunnen

gevaarlijke consequenties hebben als er geen onmiddellijke waarschuwing over de fouten in de plaatsbepalingnauwkeurigheid is. Een Canadees vliegtuig verloor meer dan 80 minuten lang zonder waarschuwing vooraf het GPS signaal, waardoor het meer dan 200 km van de koers afdwaalde voor het contact met de satellieten hersteld werd. Langdurige verstoringen komen niet alleen op hoge breedtegraden voor; ook boven Amerika en de Middellandse Zee ondervinden vliegtuigen soms problemen.

Bedrijven en instellingen die afhankelijk zijn van nauwkeurige plaatsbepalinggegevens, op elk gewenst moment en elke locatie, zijn daarom huiverig om geheel op GPS te vertrouwen en zouden graag een hogere precisie willen. Nieuwe mogelijkheden voor het gebruik van GPS worden hierdoor niet altijd in gebruik genomen. Het Europese Galileo systeem dat bestaat uit 30 satellieten en een groot aantal grondstations, moet geavanceerder, betrouwbaarder en efficiënter worden dan GPS. Een nauwkeurigheid tot één meter is nodig voor bepaalde toepassing, zoals de navigatie van schepen wanneer ze een haven binnen lopen. Het wordt door de landen die aan het project meewerken van groot belang geacht dat Europa zelfstandig wordt op het gebied van satellietnavigatie en de technologie die ervoor nodig is. Zonder Galileo blijft Europa achter in een industrie waarvan verwacht wordt dat die, deze eeuw, van zeer groot belang gaat worden.

## Navigatie met satellieten

Bij satellietnavigatie wordt een positie op de grond bepaald door de afstand tot tenminste drie satellieten te meten. Elke afstands-

meting levert een bolschil van mogelijke locaties rond de satelliet op. Het snijpunt van de drie bollen met het aardoppervlak geeft de gevraagde positie aan. In werkelijkheid is deze grens van de drie bolschillen en de aarde geen punt, maar een zone van mogelijke posities. Hoe nauwkeuriger de metingen, hoe kleiner dit gebied en dus hoe preciezer de positiebepaling.

Bij Galileo en het al bestaande GPS wordt de afstandsmeting uitgevoerd door het meten van de tijd die het satelliet signaal nodig heeft om de ontvanger op het aardoppervlak te bereiken. Hoe langer dat duurt, hoe groter de afstand tot de satelliet. Het signaal verlaat een satelliet met ingecodeerd het precieze tijdstip van verzending. De ontvanger kan door vergelijking van de zendtijdstippen van de signalen van drie satellieten en de tijd volgens haar interne klok, bepalen waar op aarde hij zich bevindt. Voorwaarde voor de werking van dit systeem, is dat zowel de klokken op de satellieten als in de ontvanger extreem nauwkeurig zijn en allemaal gelijk lopen. De satellieten hebben daarvoor atoomklokken aan boord, die de tijd tot op enkele nanoseconden ( $10^{-9}$  seconden) bijhouden. Atoomklokken zijn echter te duur om in commercieel interessante ontvangers te bouwen, daarom gebruiken die een gewone kwartsklok. Om deze klok toch nauwkeurig genoeg te krijgen, is het signaal van een vierde satelliet nodig. Lopen

alle klokken in de satellieten en de ontvanger gelijk, dan zullen de vier bolschillen een enkel snijpunt opleveren. Zo niet, dan is dat een aanwijzing dat de klok in de ontvanger voor of achter loopt. De ontvanger berekent vervolgens welke aanpassing nodig is om de bolschillen elkaar op een enkel punt te laten snijden en aan de hand hiervan wordt de interne klok voortdurend gelijk gezet. Voor de positiebepaling moet de ontvanger verder nog weten welke satelliet op welk moment waar is. Dit wordt opgezocht in een interne almanak, die via radiosignalen voortdurend vernieuwd wordt omdat de banen van de satellieten geleidelijk veranderen.

Om het systeem te laten werken moeten dus op elke locatie op aarde en op elk moment tenminste vier satellieten zichtbaar zijn. De 30 Galileo satellieten worden daartoe in drie verschillende banen geplaatst, allen cirkelvormig met een baanhoogte van 23 616 km en een inclinatie van  $56^\circ$ , maar met verschillende snijpunten met de evenaar.

## Toepassingen

Verwacht wordt dat het ongeveer € 3,3 miljard kostende Galileo project meer dan 100 000 nieuwe banen en een omzet aan ontvangstapparatuur en diensten van meer dan € 10 miljard per jaar gaat opleveren. In



*Galileo. Zo dicht bij elkaar als op deze afbeelding komen de Galileo satellieten niet, maar voor elke locatie op aarde zullen er zich altijd tenminste vier boven de horizon bevinden.*  
[ESA]

vergelijking met de potentiële opbrengsten is Galileo, met een kostprijs van 2/3 van die van de Betuwelijn, niet duur. Scheepvaart- en vliegverkeer zullen door verbeterde navigatie beter geregeld kunnen worden, wat veel geld zal besparen door verminderde vertragingen en het gebruik van meer directe routes. Voor het wegverkeer zijn al navigatiesystemen beschikbaar die plaatsbepaling koppelen met informatie over files en wegwerkzaamheden, hetgeen belangrijke besparingen in reistijd en brandstofverbruik oplevert. Transportbedrijven kunnen hun voertuigen over de gehele wereld volgen, wat de planning verbetert en fraude en diefstal moeilijk maakt. In de landbouw helpt positiebepaling bij bijvoorbeeld het sproeien met bestrijdingsmiddelen. Als een landbouwer precies kan nagaan waar hij al gesproeid heeft, wordt onnodige besproeiing en milieuvervuiling voorkomen. In de visserij helpt satellietnavigatie bij het bepalen van de positie van vissersvloten, waardoor onenigheden over de grenzen van toegestane visgebieden voorkomen kunnen worden. Naast positiebepaling kunnen de signalen van de Galileo ook gebruikt worden voor tijdsynchronisatie; het meesturen van exacte, gecertificeerde tijdgegevens helpt bijvoorbeeld bij de beveiliging van internetverkeer.

Aangezien verwacht wordt dat Europese bedrijven veel geld gaan verdienen aan Galileo, wordt er gewerkt aan een zogenaamd publiekprivaat partnerschap tussen aan de ene kant de Europese Unie en ESA, en aan de andere kant de bedrijven die in het project willen investeren. Hoewel dit plan nog niet erg van de grond gekomen is, wordt op deze manier geprobeerd de kosten te verdelen en niet alleen op de rekening van de belastingbetaler te laten komen.

Naast economische voordelen zal Galileo ook zeer belangrijk zijn voor de hulpverlening door brandweer, politie en reddingbrigades, doordat zij slachtoffers sneller zullen kunnen vinden en bereiken. Ook kan zeer precieze plaatslocatie, zoals alleen met Galileo mogelijk zal zijn, blinden helpen hun weg te vinden, iets waarvoor positienauwkeurigheid in de orde van een meter absoluut cruciaal is. Zoals met de computer 20 jaren of het Internet 10 jaren geleden, kunnen we nu waarschijnlijk slechts het topje van de ijsberg van

mogelijkheden zien. Vanwege de gewilde Europese onafhankelijkheid moet Galileo een op zichzelf staand systeem worden. Om de markt voor gebruikersapparatuur zo groot mogelijk te maken en de beschikbaarheid van satellietnavigatie te vergroten, zal Galileo echter compatibel zijn met het al bestaande GPS netwerk.

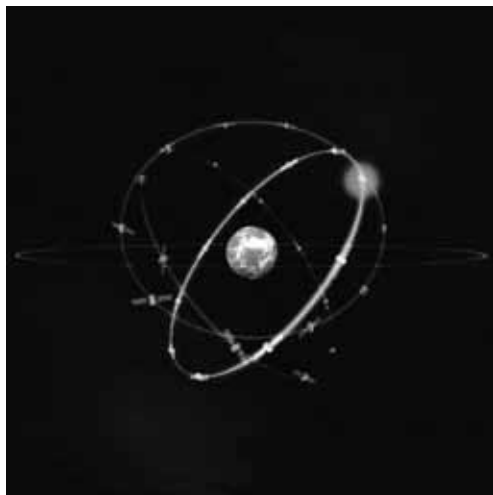
Om in alle behoeften te voorzien, zal Galileo verschillende serviceniveaus aanbieden. Het basisgebruik van het systeem wordt gratis, net als bij GPS maar met een betere kwaliteit en betrouwbaarheid. Daarnaast kan er, tegen betaling, gebruik worden gemaakt van preciezere en nog betrouwbaardere locatiebepalingen. Als onderdeel hiervan komt er een 'hoogst betrouwbare' service voor toepassingen waarbij het uitvallen van het systeem onder geen beding zonder waarschuwing mag voorkomen. Deze service zal vooral toegepast worden in gevallen waarbij mensenlevens afhangen van de beschikbaarheid en nauwkeurigheid van de Galileo signalen, zoals in het vliegverkeer. Zeer precieze positiegegevens voor gebruik door politie, brandweer, hulpdiensten en defensie zullen speciaal gecodeerd worden om misbruik te voorkomen. Daarnaast moet deze service zeer betrouwbaar en altijd beschikbaar zijn, voor gebruik in rampsituaties waarbij alle andere navigatiemiddelen zijn uitgevallen of (opzettelijk) worden gestoord.

### **Infrastructuur in de ruimte en op de grond**

Het hart van Galileo bestaat uit drie baanvlakken met elk tien satellieten; negen die nodig zijn voor de werking van het systeem en één actieve reservesatelliet. Als een satelliet uitvalt kan zijn taak direct door een van de buursatellieten worden overgenomen zonder dat dit effect heeft op de nauwkeurigheid of bereikbaarheid van de positiebepaling. Eén van een serie op aarde opgeslagen reservesatellieten zal vervolgens zo snel mogelijk gelanceerd worden om de constellatie weer compleet te maken.

De Galileo satellieten zullen vrij conventioneel opgebouwd worden: een rechthoekige constructie met daarin de gebruikelijke

Galileo omlopen. De Galileo satellieten worden in drie baanvlakken geplaatst, zodat over ter wereld altijd voldoende satellieten bereikbaar zijn voor nauwkeurige positiebepaling. [ESA]



standregeling, communicatie, elektriciteitsmanagement, thermische controle en computersystemen en twee panelen met zonnecollectoren. De navigatiesystemen zullen in de satelliet op aparte panelen worden gezet, waarbij gevoelige apparatuur, zoals de atoomklokken, zover mogelijk van storende of bewegende onderdelen wordt geplaatst. De satellieten zullen bij de lancering elk ongeveer 700 kg wegen. Bij de opbouw van de Galileo constellatie zullen meerdere satellieten tegelijk op dezelfde raket worden gelanceerd, met een Proton, Soyuz of Ariane 5. Daarna kunnen vervangende satellieten apart met kleinere draagraketten in een baan worden geplaatst.

Naast de satellieten zal Galileo een omvangrijk grondstelsel omvatten. Twee controlecentra in Europa zullen zorgen voor het onderhoud van de satellieten, de synchronisatie van de atoomklokken, de integriteit van de signalen (waarschuwing bij onnauwkeurigheden) en het dataverkeer tussen alle interne en externe elementen van het stelsel. Een speciaal wereldomvattend communicatienetwerk zal alle grondstations, controlecentra en Galileo satellieten met elkaar verbinden, door middel van zowel land- als satellietverbindingen. Lokaal zal er ook differentiële positionering worden toegepast. Hierbij wordt door middel van een ontvangstation met een nauwkeurig bekende locatie de onnauwkeurigheid in de Galileo positie-informatie gemeten. Het ontvangstation zendt vervolgens signaalcorrectie-informatie naar alle (ook mobiele) Galileo ontvangers in de omgeving, wat de positiebepaling nog veel nauwkeuriger maakt.

## Testen van het concept

Galileo is voor Europa een nieuwe technologie waarmee veel geld gemoeid is. Om de ontwikkelingsrisico's te verkleinen, worden er verschillende testfasen doorlopen voordat het gehele Galileo systeem operationeel wordt. Ten eerste is er de *European Geostationary Overlay Service*, ofwel EGNOS. Dit project van ESA en Eurocontrol, de Europese organisatie voor de veiligheid van vliegtuignavigatie, zendt integriteitsinformatie over de betrouwbaarheid van GPS en Glonass signalen naar de satellietontvangers. Een proefversie van EGNOS is al sinds begin 2000 beschikbaar.

De werking van het Galileo concept zelf zal worden onderzocht door middel van het *Galileo System Test Bed*, GSTB. In de eerste fase zal het de concepten voor baanbepaling, tijdsynchronisatie en integriteitsmeting testen door gebruik te maken van de satelliet signalen van het GPS systeem. De tweede fase van GSTB zal bestaan uit een testsatelliet, die eind 2004 gelanceerd moet worden, en een uitbreiding van het grondstelsel dat tijdens de eerste fase van GSTB wordt opgebouwd. Door middel van de satelliet en het grondstelsel kan de werking van verschillende navigatiemethoden met Galileo onder realistische omstandigheden getest worden. Met een testsatelliet in de ruimte kunnen ook de nodige licenties voor de juiste radiofrequenties voor Galileo worden geclaimd. Hiernaast wordt er momenteel een uitgebreid simulatiesysteem, de *Galileo System Simulation Facility*, GSSF, opgezet, waarin modellen van de Galileo ruimte-, grond- en gebruikerssystemen kunnen worden getest.

De ontwikkeling van Galileo is gepland voor de periode 2001-2005, waarna twee tot vier operationele Galileo satellieten en een groot deel van het grondstelsel in werking moeten zijn. Vervolgens worden in 2006 en 2007 de overblijvende 26 tot 28 satellieten gelanceerd en wordt het grondstelsel volledig gemaakt. Vanaf 2008 moet dan het commerciële, operationele gebruik van Galileo beginnen. Hiermee zal dan een nieuw, geavanceerd, commercieel, civiel satellietnavigatiesysteem voor gebruik in de hele wereld, beschikbaar zijn.

# World Space Congress 2002, Houston, Texas

K. Rycek

In oktober stonden 220 Europese studenten klaar om een nieuwe wereld te ontdekken. We waren door de ESA geselecteerd om het tiendaagse *World Space Congress* bij te wonen. De introductie in de professionele ruimtevaartwereld begon bij ESTEC in Noordwijk. Na een hartelijk welkomstwoord en een voorstelling van de ESA-activiteiten, kregen we de testfaciliteiten waaronder triltafels, zonn simulator en akoestische kamer te zien waar alle Europese satellieten testen ondergaan voor ze werkelijk de ruimte worden ingeschoten. Ook een replica van de Europese Columbus module was te bezichtigen.

Op 9 oktober kwamen we na tien uur vliegen aan op Amerikaanse bodem. Een vochtige lucht, hoge temperatuur en een grijs wolkendek typeerden het klimaat aan de Golf van Mexico. Houston is de vierde grootste stad in de VS en bakermat van de maanexploraties. Van hieruit werden alle Apollo-missies gecoördineerd; hier ben je een stukje dichterbij de maan. De daaropvolgende dagen begon het harde werk. Enkelen onder ons namen ook deel aan de *Space Generation Summit*, SGS, een driedaagse meeting van jonge ruimtevaartfreaks uit heel de wereld met als doel het formuleren van een visie op de toekomst van de ruimtevaart door de jongere ruimtevaart generatie. Gedurende drie dagen werd hieraan hard gewerkt. Aan het einde van de SGS werden presentaties gehouden door de verschillende discussiegroepen over de resulterende ideeën om de ruimtevaart experts bewust te maken van onze visie op de toekomst van de ruimtevaart. Brainstorming sessies en discussies, tot soms diep in de nacht, gingen daaraan vooraf. Er werden een aantal zeer belangrijke raakvlakken vastgesteld in de verschillende discussiegroepen. Zo waren er de ideeën een internationale technische en wetenschappelijke database op te stellen, de krachten te bundelen door een zelfde internationale *roadmap* op te stellen, internationaal samen te werken en tenslotte het grote publiek bewust te maken van de noodzaak van ruimtevaart door middel van publiciteit en educatie.

Na deze intensieve dagen vond op 14 oktober de officiële opening van het *World Space Congress 2002* plaats waar o.a. NASA-directeur O'Keefe een belangwekkende toespraak hield. Daarin beklemtoonde hij het belang van communicatie en kennisuitwisseling tussen de ruimtevaart experts en de jongere generatie. Het thema van dit ruimtevaartcongres

was dan ook niet voor niets *The New Face of Space*. Gedurende een hele week werden er meer dan 450 technische en wetenschappelijke sessies gegeven. Van maan- en Marsexploraties tot de nieuwste ontwikkelingen in raketvoortstuwing. Parallel lopend aan deze sessies was er ook de tentoonstelling,

waar 3150 exposanten en 350 ruimtevaart gerelateerde bedrijven hun stands hadden opgezet. 's Avonds waren er recepties en diners waar je kon discussiëren met ruimtevaart experts en astronauten en kosmonauten.

Naast al dit serieuze werk was er natuurlijk ook wel tijd om af en toe iets van de Amerikaanse cultuur mee te nemen, zoals een Texaanse barbecue of een bezoek aan McDonald's of Wendy's. En natuurlijk mocht een bezoek aan het NASA Johnson Space Center niet op het programma ontbreken. In de *mission control room* van de Apollo-missies kreeg je wel de smaak te pakken van het realiseren van uitdagende ruimtevaartmissies zoals *landing a man on the moon and returning him safely to Earth* zoals J.F. Kennedy het in 1961 verwoordde. Een bezoek aan de Apollo 17 *command module*, de *mock-ups* van de space shuttle en van het internationale ruimtevaartstation gaven een duidelijk beeld van het vertoeven als mens in de ruimte.

Aan dit opmerkelijke ruimtevaartcongres, waarvan ook de 34<sup>ste</sup> wetenschappelijke samenkomst van *The Committee on Space Research*, COSPAR, en het 53<sup>ste</sup> *International Astronautical Federation*, IAF, congres deel uitmaakten, namen meer dan 20 000 mensen deel. Het was daarmee het grootste ruimtevaartgebeuren ooit. Tien dagen intensief ruimtevaart, een tijd om nooit te vergeten. Contacten met internationale studenten, professoren, astronauten en kosmonauten en het opdoen van ruimtevaart gerelateerde wetenschappelijke en technische kennis geven je een *boost* in je ruimtevaartleven. Dit initiatief van het uitzenden van Europese studenten naar het jaarlijks georganiseerde IAF ruimtevaartcongres is een van de vele *outreach* programma's die door ESA worden georganiseerd. Deelname hieraan is een aanrader voor elke ruimtevaartfreak. Voor meer informatie hieromtrent, kijk op [www.estec.esa.nl/outreach/](http://www.estec.esa.nl/outreach/).



# Rosetta, Europa's komeetjager

Ir. J.F.M. van Casteren

Na de mislukte lancering van een Ariane 5 draagraket op 11 december 2002 is de Rosetta lancering uitgesteld. Dat houdt ook in dat de komeet Wirtanen niet meer het doel van deze missie zal kunnen zijn. ESA's wetenschappelijk directeur, prof. D. Southwood, heeft verklaard dat de Rosetta missie wel zal doorgaan, maar op een later tijdstip en naar een andere komeet. De beslissing hierover wordt in mei 2003 verwacht. Rosetta wordt nu in opslag genomen.

De redactie heeft gemeend bijgaand artikel toch te plaatsen omdat dit een goed inzicht geeft in de technologie en problematiek van dit soort ruimtevaartmissies.

**Rosetta is een hoeksteenmissie in het wetenschapsprogramma Horizon 2000 van ESA. Het avontuur begint in januari 2003 (zie kader) wanneer een Ariane 5 raket vertrekt vanuit Kourou, Frans Guyana. Tijdens een negen jaren durende tocht door het zonnestelsel kruist Rosetta de asteroïde gordel en reist de verre ruimte in, meer dan vijf keer de afstand aarde-zon. Zijn bestemming: komeet 46P/Wirtanen. Om dit doel te bereiken, werd een van de meest gecompliceerde satellieten ooit gebouwd.**

## Een historische missie

In november 1993 werd de internationale Rosetta missie officieel geaccepteerd als hoeksteen missie in ESA's wetenschapsprogramma Horizon 2000. Sindsdien hebben wetenschappers en ingenieurs uit heel Europa en de Verenigde Staten hun talent samengebracht om een omloopvoertuig en landingvoertuig voor deze unieke expeditie te bouwen en daarmee de geheimen van een mini ijswereld te ontrafelen – een komeet. Het avontuur begint in januari 2003 wanneer een Ariane 5 raket vertrekt vanuit Kourou, Frans Guyana. Tijdens een negen jaren durende tocht door het zonnestelsel kruist Rosetta de asteroïde gordel en reist de verre ruimte in, meer dan vijf keer de afstand aarde-zon. Zijn bestemming: komeet 46P/Wirtanen. Het Rosetta omloopvoertuig zal een rendez-vous met Wirtanen maken en dicht in de buurt van de ijzige kern blijven, terwijl die in de warmere sferen van de zon komt. In die periode zal een landingvoertuig van het omloopvoertuig worden losgemaakt om te landen op het oppervlak van deze mysterieuze kosmische ijsrots. Nog twee jaren zullen voorbijgaan voordat de opmerkelijke missie eindigt in juli 2013.

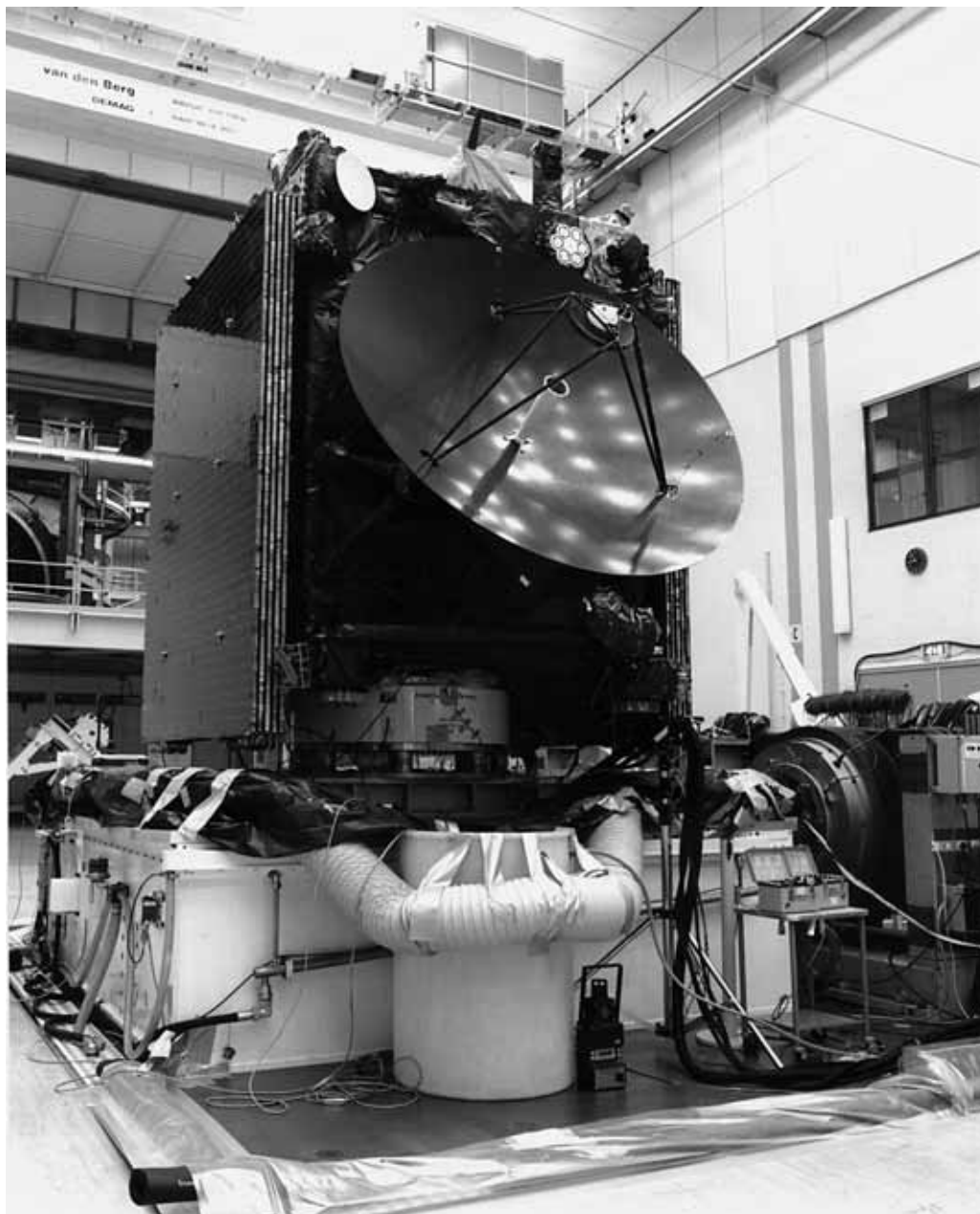
De Rosetta missie is historisch in menig opzicht:

- Rosetta zal de eerste satelliet zijn in een baan rond een komeetkern.
- Het zal de eerste satelliet zijn die samen optrekt met een komeet, dwars door het zonnestelsel van buiten naar binnen.
- Rosetta zal de eerste satelliet zijn die van heel dichtbij kan onderzoeken hoe een bevroren komeet door de hitte van de zon wordt getransformeerd.

- Kort na aankomst bij komeet Wirtanen zal het Rosetta omloopvoertuig een robot landingvoertuig afstoten die als eerste een gecontroleerde zachte landing op een komeetkern zal maken.
- De instrumenten op het landingvoertuig zullen de eerste foto's op een komeetoppervlak maken en als eerste een in situ analyse maken om te bepalen waaruit het is gemaakt.
- Op weg naar komeet Wirtanen zal Rosetta de eerste scheervlucht maken langs de asteroïden Siwa en Otawara.
- Rosetta zal de eerste satelliet zijn die dichtbij Jupiter's baan vliegt met zonnecellen voor het opwekken van elektriciteit.

Wetenschappers wachten vurig op Rosetta's resultaten om ze te kunnen vergelijken met die van vorige studies door ESA's Giotto missie en door sterrenwachten. Deze studies tonen aan dat kometen complexe organische moleculen bevatten – samenstellingen die rijk zijn aan koolstof, waterstof, zuurstof en stikstof. Intrigerend, want dit zijn precies de elementen waaruit nucleïnezuren en aminozuren bestaan. Dit zijn essentiële ingrediënten voor levensvormen zoals wij die kennen. Is het leven op aarde ontstaan met hulp van kometen? Rosetta kan helpen het antwoord op deze fundamentele vraag te vinden.

De naam van ESA's missie voor komeet exploratie is afgeleid van de beroemde 'Rosetta Steen'. Dit brok vulkanisch basalt – nu in het Brits Museum in Londen – was de sleutel tot het ontrafelen van de hiërogliefen van het oude Egypte. Precies zoals de Rosetta Steen de sleutel gaf tot een oude beschaving, zo



Het Rosetta ruimtevaartuig wordt getest op de schudtafel (shaker). [ESA]

zal ESA's Rosetta satelliet de geheimen blootleggen van de oudste bouwstenen van ons zonnestelsel, de kometen. Rosetta geeft wetenschappers de gelegenheid om 4,6 miljard jaren terug te kijken toen er geen planeten bestonden maar wel een enorme zwerm asteroïden en kometen die om de zon cirkelden.

### Leven en overleven in de ruimte

Rosetta's ruimte odyssee bevat lange periodes zonder activiteit, afgewisseld met relatief korte momenten van intensieve activiteit: de ontmoetingen met Mars, twee

maal de aarde en twee asteroïden. Een van de grootste uitdagingen van de Rosetta missie is om zeker te stellen dat de satelliet de gevaren van de tien jaren lange reis door de agressieve ruimte overleeft.

### *Winterslaap*

Gedurende een groot deel van de reis naar de komeet zal de satelliet in een winterslaap worden gebracht om elektriciteit- en brandstofverbruik te beperken en de operationele kosten te minimaliseren. Gedurende 2,5 jaar op de grootste afstand van de zon, namelijk 5,2 Astronomische Eenheden (AE), tolt de satelliet eenmaal per twee minuten om zijn as terwijl de zonnepanelen op de zon blijven

gericht met een maximale afwijking van 20°. Bijna alle elektrische systemen zullen worden uitgeschakeld, met uitzondering van de radio ontvangers, de telecommandodecoder en de energie voorziening. Eén boordcomputer blijft aangeschakeld om de status van kritische verwarmingselementen te bewaken.

### **Autonomie**

Instructies van het vluchtleidingcentrum hebben tot 45 minuten nodig om de satelliet te bereiken en de reactie is nog eens 45 minuten later op de grond te zien. Rosetta moet dus intelligentie bezitten om voor zichzelf te zorgen, ook als er iets fout gaat. Dit wordt gedaan door boordcomputers die zorgen voor datamanagement en standregeling. In geval van problemen tijdens de lange zwerftocht worden fouten automatisch gedetecteerd en geïsoleerd om verdere negatieve gevolgen te vermijden. Vervolgens kunnen reserve systemen automatisch worden aangeschakeld om zeker te stellen dat de satelliet operationeel blijft tijdens kritische fases in de missie.

### **Warm en koud**

Het binnen aanvaardbare grenzen houden van de temperatuur van de Rosetta satelliet geeft de ontwerpers hoofdbrekens. Dicht bij de zon moet oververhitting worden vermeden door gebruik van radiatoren die overbodige energie naar de ruimte afstralen. Aan de buitenrand van het zonnestelsel moeten de apparatuur en instrumenten warm worden gehouden, speciaal tijdens de winterslaap, om overleven te garanderen. Dit wordt bereikt door verwarmingselementen op strategische punten te plaatsen, b.v. op brandstoftanks, brandstofleidingen en stuurraketten. De hele satelliet wordt in thermische dekens van 20 lagen ingepakt met speciale aandacht om de naden goed dicht te houden en warmtelekken te vermijden. Heel belangrijk is de installatie van louvres over de radiatoren. Bij het bereiken van ongeveer nul graden Celsius sluiten de louvres door bimetaal veren waardoor de weg naar de ruimte wordt versperd en de warmte wordt binnengehouden.

### **Zonne-energie**

Rosetta zal de eerste ruimtemissie zijn die buiten de asteroïdengordel volledig vertrouwt op zonnecellen voor het opwekken van

elektrische energie in plaats van de traditionele radio-isotoop thermische generatoren. De nieuwe zonneceltechnologie die op de reusachtige zonnepanelen met 32 m spanwijdte wordt toegepast, maakt het mogelijk te werken op een afstand van 800 miljoen km van de zon, waar de zonne-intensiteit slechts 4% is van dat op aarde. Bijna 25 000 speciaal ontwikkelde silicone cellen met weinig zonlicht reflectie, leveren 8700 W op aarde en 425 W op de afstand van Jupiter.

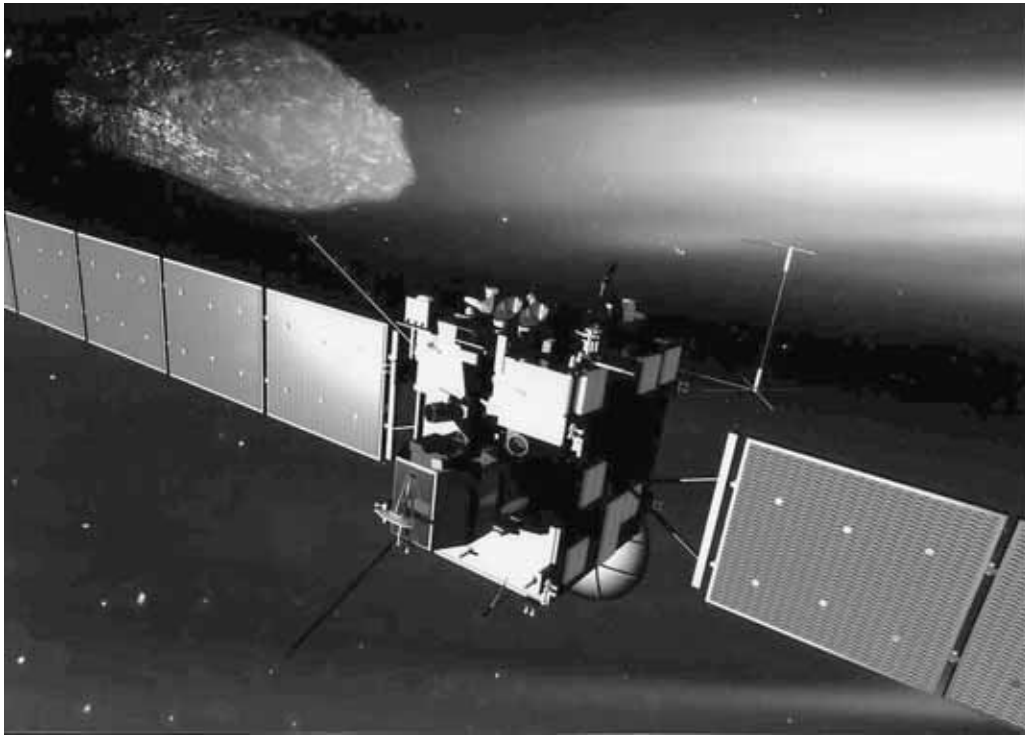
## **Kosmische biljartbal**

Rosetta's tienjarige expeditie begint in januari 2003 met een Ariane 5 lancering vanuit Kourou, Frans Guyana. De 3064 kg zware satelliet kan echter door geen enkele bestaande raket, zelfs niet de krachtige Ariane 5, in een baan direct naar komeet Wirtanen worden gelanceerd. In plaats daarvan cirkelt Rosetta als een kosmische biljartbal bijna vier keer rond de zon. Hierbij scheert hij één keer langs Mars in 2005 en twee keer langs de aarde in 2005 en 2007 om extra snelheid mee te krijgen. Tijdens deze zwerftocht vliegt hij ook nog eens vlak langs Siwa en Otawara als een wetenschappelijke bonus om metingen te verrichten.

Uiteindelijk komt de satelliet in de buurt van de komeet in november 2011. Stuurraketjes zullen Rosetta dan afremmen, zodat de snelheid gelijk wordt aan de omloopsnelheid van Wirtanen rond de zon. Tijdens de volgende zes maanden nadert hij langzaam tot op enkele tientallen kilometers van de gitzwarte slapende kern. De weg ligt dan open voor de opwindende overgang naar de cartografie fase, het uitzetten van het landingvoertuig en het volgen van de komeet richting de zon.

## **Asteroïden Otawara en Siwa**

Onze kleine uithoek in het universum – het zonnestelsel – is het thuis van een ster, negen planeten en tientallen planetaire satellieten. Het bevat ook miljarden asteroïden en kometen die de overblijfselen zijn van de kosmische bouwput waar de planeten en hun manen zijn geschapen. Rosetta's taak is



Kunstmatige afbeelding van het ruimtevaartuig Rosetta dat de komeet 46P/Wirtanen nadert. [ESA]

om drie van deze primitieve bouwstenen van dichtbij te onderzoeken zodat wetenschappers nieuwe inzichten kunnen winnen betreffende de gebeurtenissen die 4,6 miljard jaren geleden plaats vonden tijdens de geboorte van de aarde en zijn planetaire bureu.

Op de uitgaande koers van de achtjarige tocht naar komeet Wirtanen zal Rosetta twee excursies maken naar de grote asteroïden-gordel, die tussen de banen van Mars en Jupiter ligt. Bij ieder bezoek zal Rosetta de eerste gedetailleerde beelden en wetenschappelijke gegevens terugsturen van de asteroïden 4979 Otawara en 140 Siwa. Deze oerrotsen zouden nauwelijks meer van elkaar kunnen verschillen. Met een geschatte grootte van 110 km is Siwa de grootste asteroïde die ooit door een satelliet is onderschept, terwijl Otawara (afgezien van de kleine asteroïde maan Dactyl) de kleinste is (<4 km). Van Otawara wordt vermoed dat het een brok van eens gesmolten basalt is (een type V of SV asteroïde) en Siwa lijkt een koolstof rijk object te zijn dat zwarter is dan kool (een type C asteroïde). Omdat Otawara snel roteert (een keer rond in drie uur) wordt verwacht dat Rosetta het grootste deel van het oppervlak zal kunnen fotograferen. Dat moet echter wel snel gebeuren want de sonde scheert met 10 km/s aan Otawara voorbij en met zelfs 17 km/s aan Siwa op een afstand van 3500 km.

### Komeet 46P/Wirtanen

Na de korte ontmoetingen met Otawara en Siwa, reist Rosetta ver buiten de asteroïde gordel om zijn doel te bereiken, komeet Wirtanen. Wirtanen is een vuile sneeuwbal met een geschatte diameter van 1,2 km die eens in de 5,5 jaar om de zon draait in een langgerekte baan tussen Jupiter en de aarde. Weinig is bekend over deze komeet omdat zijn zwakke beeld wegvalt tegen de achtergrond van vele sterren. Tijdens de korte excursies dichterbij de zon doet de zonnearmte het ijs op het oppervlak verdampen en gasstralen blazen stofdeeltjes de ruimte in. Door de zo ontstane stofwolk is de komeetkern voor waarneming van de aarde afgeschermd. Rosetta's taak is om de komeet te onderscheppen terwijl die zich nog in de koude regionen van het zonnestelsel bevindt en nog geen activiteit toont. Nadat het landingvoertuig op de nog slapende komeet wordt afgestuurd zal het omloopvoertuig Wirtanen blijven achtervolgen terwijl die dichterbij de zon komt met snelheden tot 38 km/s. Gedurende een jaar zal Rosetta in een baan rond de komeet het oppervlak in kaart brengen en de verandering in activiteit waarnemen. Gas en stof deeltjes die de komeet omgeven en de interactie met de zonnwind die de lange staart veroorzaakt, zal worden bestudeerd.

## Rosetta

Rosetta lijkt op een grote zwarte kubus met afmetingen van 2,8 x 2,1 x 2,0 meter. De wetenschappelijke instrumenten zijn boven op de kubus gemonteerd, terwijl de satelliet subsystemen in het onderste deel een plaats hebben gevonden. Aan de voorkant is de 2,2 m diameter grote telecommunicatie schotel geplaatst, die rond twee assen te roteren is, om communicatie met de aarde mogelijk te maken. Het landingvoertuig is als een rugzak op de achterkant van de satelliet gemonteerd. Twee enorme zonnepanelen strekken zich aan weerszijden van de satelliet uit met een spanwijdte van maar liefst 32 meter. Iedere vleugel heeft 5 panelen en kunnen +/- 180 graden worden gedraaid terwijl de satelliet om de komeet draait om een maximum aan zonlicht in te vangen. In de buurt van de komeet blijven de instrumenten bijna altijd op de komeet gericht, terwijl de antenne en de zonnepanelen resp. op de aarde en de zon gericht zijn.

De zijkant en de achterkant van de sonde zijn meestal in de schaduw, hetgeen dit ideale locaties maken voor de radiatoren en louvres. Deze zijn ook van de komeet weggericht zodat de kans op schade door komeetstof miniem wordt. De sterrenvolgers, die worden gebruikt voor navigatie en standregeling, zijn zo ontworpen dat ze niet in de war worden gebracht door stofdeeltjes die zich als valse sterren voordoen wanneer ze door de zon worden verlicht. Dit is uiterst belangrijk als de komeet de zon nadert want dan kunnen zich tot 10 000 van zulke 'valse sterren' in het gezichtsveld bevinden.

In het hart van de satelliet zitten twee grote stuwstof tanks, de bovenste gevuld met brandstof, de onderste met oxidans. Meer dan de helft van het startgewicht bestaat uit brandstof. Op een van de panelen binnen in de satelliet zitten tientallen componenten, onderling verbonden door een wirwar van pijpen, zoals pyrokleppen, filters, drukregelaars en drukopnemers. Op de hoekpunten bevinden zich 24 raketmotortjes van ieder 10 N stuwkracht die zowel voor standregeling als voor baancorrecties worden gebruikt.

## Wetenschap van het omloopvoertuig

De wetenschappelijke lading op het omloopvoertuig bestaat uit 11 experimenten, plus het landingvoertuig. Het zijn stuk voor stuk technische hoogstandjes die van de nieuwste technieken gebruik maken.

**OSIRIS** – *Optical, Spectroscopic and Infrared Remote Imaging System*, bestaat uit twee camera's, één met groothoek optiek en één met tele-optiek voor hoge resolutie beelden.

**ALICE** – *Ultraviolet Imaging Spectrometer*, analyseert gassen in de coma en staart en meet de productie van water, koolmonoxide en kooldioxide. Geeft ook informatie over de samenstelling van het komeetoppervlak.

**VIRTIS** – *Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer*, bestudeert de vaste stoffen en de temperatuur op het komeetoppervlak en gassen in de coma. Helpt ook een geschikte landingplaats te zoeken.

**MIRO** – *Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter*, stelt de hoeveelheid van de meest belangrijke gassen vast, de uitgassnelheid en de temperatuur onder het oppervlak.

**ROSINA** – *Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis*, kijkt naar de samenstelling van de komeet atmosfeer en ionosfeer, de snelheid van elektrisch geladen gasdeeltjes en hun chemische reacties.

**COSIMA** – *Cometary Secondary Ion Mass Analyser*, analyseert de stofdeeltjes op organische en anorganische samenstelling.

**MIDAS** – *Micro Imaging Dust Analysis System*, bestudeert het stof rond de komeet en geeft informatie over de hoeveelheid stofdeeltjes, grootte, volume en vorm.

**CONSERT** – *Comet Nucleus Sounding Experiment by Radio wave Transmission*, sondeert de binnenkant van de komeet door radiogolven die worden gereflecteerd en verstrooid door de komeetkern.

**GIADA** – *Grain Impact Analyser and Dust Accumulator*, meet het aantal, de massa, de bewegingsenergie en de snelheidsverdeling van de stofdeeltjes.

**RPC** – *Rosetta Plasma Consortium*, meet de fysieke eigenschappen van de kern, de structuur van het binnenste deel van de coma, de komeet activiteit en de interactie met de zonnwind.

**RSI** – *Radio Science Investigation*, meet door verschuiving in de radiosignalen van de satelliet de massa, dichtheid en zwaartekracht van de kern, de baan van de komeet en bestudeert het binnenste deel van de coma. Meet ook de zonnecorona wanneer de satelliet van de aarde gezien achter langs de zon passeert.

## Wetenschap van het landingvoertuig

Het landingvoertuig is met zijn 100 kg op zich zelf een mini satelliet met alle huishoudelijke functies die het omloopvoertuig ook heeft. Hij moet in staat zijn geheel zelfstandig naar de komeet af te dalen wanneer het omloopvoertuig op de juiste positie en stand ten opzichte van de komeet is aangekomen. Met een nauwkeurig gecontroleerde snelheid scheidt het landingvoertuig zich af van de satelliet en begint de ongeveer 1,5 uur durende afdaling naar de komeet. In de vlucht ontvouwt hij zijn drie poten, waarop na de ballistische vlucht wordt geland. Het landinggestel absorbeert het grootste deel van de landingsenergie om de kans op terugslag te verkleinen en later kan het gebruikt worden om het landingvoertuig te draaien, te verhogen of rechtop te zetten. Onmiddellijk na de landing wordt een harpoen afgevuurd om het landingvoertuig stevig te verankeren aan de bodem en te verhinderen dat het zou ontsnappen uit het extreem zwakke zwaartekrachtsveld. De levensduur van het landingvoertuig is minimaal 65 uur maar kan oplopen tot enkele maanden als de zonnecellen voldoende door de zon worden belicht. Via een S-band antenne worden de wetenschappelijke gegevens naar het omloopvoertuig gestuurd die ze naar de aarde relayeert. Het landingvoertuig bevat negen experimenten met een totale massa van 21 kg, waaronder een boor systeem dat monsters van onder het oppervlak naar het experimentenlaboratorium in het landingvoertuig brengt.

**COSAC** – *Cometary Sampling and Composition experiment*, analyseert het komeetgas en detecteert complexe organische moleculen. **PTOLEMY**, analyseert ook het komeetgas en neemt nauwkeurig de isotopische verhoudingen van lichte gassen op.

**MUPUS** – *Multi-Purpose Sensors for Surface and Sub-surface Science*, met sensoren op de ankers, de sonde en op de buitenwand wordt de dichtheid, de thermische en mechanische eigenschappen van het oppervlak gemeten.

**ROMAP** – *Rosetta Lander Magnetometer and Plasma Monitor*, bestudeert het lokale magnetische veld en de interactie tussen de komeet en de zonnewind.

**SESAME** – *Surface Electrical, Seismic and Acoustic Monitoring Experiments*, meten eigenschappen in de buitenste lagen van de komeet, met behulp van sonar, een elektrische sonde en stof inslag meting.

**APXS** – *Alpha X-ray Spectrometer*, detecteert op een afstand van 4 cm boven de grond alpha deeltjes en röntgenstraling, hetgeen informatie geeft over de elementensamenstelling in het komeetoppervlak.

**CONSERT** – *Comet Nucleus Sounding Experiment by Radio wave Transmission*, sondeert de interne structuur van de kern en werkt samen met een soortgelijk instrument op het omloopvoertuig.

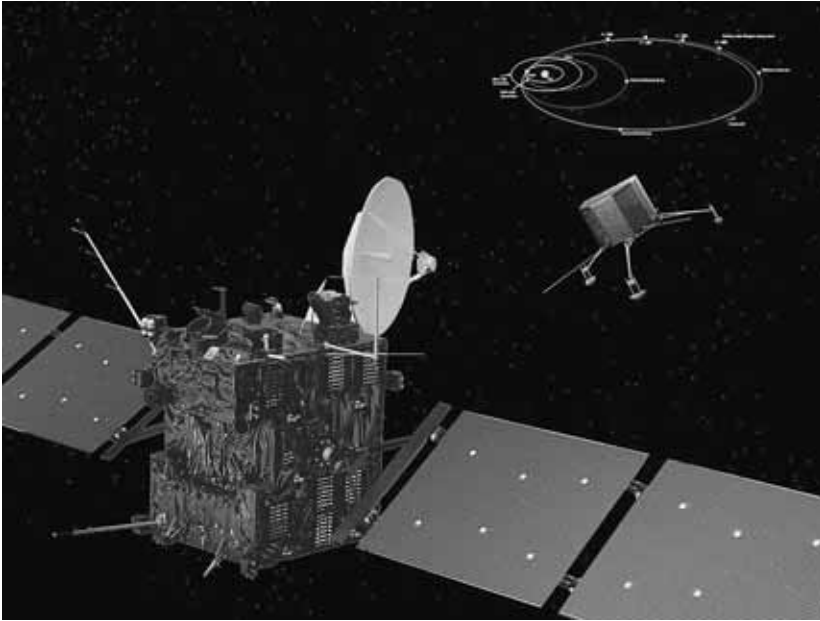
**ÇIVA**, zes identieke micro-camera's, enkele stereoscopisch, die panoramische opnamen van het oppervlak maken. Een spectrometer bestudeert de compositie, textuur en reflectiviteit van monsters uit het oppervlak.

**ROLLS** – *Rosetta Landing Imaging System*, een CCD camera die hoge resolutie beelden neemt tijdens de afdaling en vlak voor de landing.

**SD2** – *Sample and Distribution Device*, boort meer dan 20 cm in het oppervlak, verzamelt bodemonsters en levert deze af aan ver-

Kunstmatige afbeelding van het ruimtevaartuig Rosetta in de buurt van komeet 46P/Wirtanen. [ESA]





Kunstmatige afbeelding van Rosetta, het landingvoertuig en de route die deze ruimtevaartuigen moeten afleggen naar de komeet 46P/Wirtanen. [ESA]

schillende ovens voor analyse door COSAC en PTOLEMY en voor microscoop onderzoek door ÇIVA.

### Communicatie over grote afstand

Tijdens Rosetta's lange interplanetaire expeditie is betrouwbare communicatie essentieel. Alle wetenschappelijke gegevens, die door de experimenten aan boord van het omloopvoertuig en het landingvoertuig worden verzameld, worden via de radioverbinding naar de aarde verzonden met een snelheid tussen 10 en 22 000 bits/s, afhankelijk van de gekozen antenne en frequentieband. Het vluchtleidingscentrum van het *European Space Operations Centre* in Darmstadt, Duitsland, bestuurt de complexe satelliet en landingvoertuig op afstand via dezelfde radioverbinding. Speciaal voor deze missie heeft ESA een nieuwe 35 meter parabolische antenne en grondstation geconstrueerd in New Norcia, West Australië. De radioverbindingen voor telecommando en telemetrie zijn mogelijk in twee banden: S-band (2 GHz) en X-band (8 GHz). Ten gevolge van de aardrotatie is de satelliet echter slechts 12 uur per dag zichtbaar vanuit het grondstation. Ook zullen er lange perioden zijn waarbij totaal geen communicatie mogelijk is omdat de satelliet bijvoorbeeld achter de zon langs

passeert. Om deze stille perioden te overbruggen worden alle gegevens in Rosetta's *solid state* massa geheugen opgeslagen om bij de volgende gelegenheid te worden overgestuurd naar de aarde.

### Europese onderneming

Het industriële team dat Rosetta heeft ontworpen, gebouwd en getest bestaat uit meer dan 50 ondernemingen uit 14 Europese landen en de Verenigde Staten. De hoofdaannemer is Astrium Duitsland en belangrijke onderaannemers zijn Astrium GB voor het platform, Astrium Frankrijk voor de avionica en Alenia Spazio voor de samenbouw en testen. De instrumenten werden door wetenschappelijke consortia van instituten over heel Europa en de Verenigde Staten geleverd. Het landingvoertuig consortium staat onder leiding van DLR Duitsland en bevat ESA en instituten uit Finland, Frankrijk, Groot Brittannië, Hongarije, Ierland, Italië en Oostenrijk.

### Conclusie

Met minder dan vier jaren van het begin van de ontwikkeling tot aan lancering is Rosetta een enorme uitdaging die strakke planning en controle vereist en flexibiliteit om tegenvallers op te vangen. Dit was mogelijk door efficiënt en vooral zeer gemotiveerd teamwerk. De vroegtijdige ontwikkeling van belangrijke technologie, zoals zonnecellen en miniatuur elektronica en het vroegtijdig verifiëren van het ontwerp heeft zich gelooft. Het resterend risico, het optreden van onverwachte technische problemen tijdens de lanceercampagne, is opgevangen met strakke controle van taken. Vier weken voor lancering waren alle werkzaamheden afgerond en de resterende tijd werd volgeemaakt met 'babysitten'. Voor de Europese industrie en honderden wetenschappers die allen hard gewerkt hebben om Rosetta op tijd voor het lanceervenster in januari 2003 te voltooiën, is de bouw van de Rosetta satelliet een uitdaging geweest die is gehaald.

## Navigatie, verleden en heden

Het heelal heeft altijd een belangrijke rol gespeeld in de navigatiesystemen van de mens. Al in de tijd van Columbus werd de positie bepaald met behulp van de stand van hemellichamen. Tegenwoordig zijn het kunsthemellichamen die deze functie hebben overgenomen. Door de ontwikkeling in satellietnavigatie is het zelfs mogelijk om zonder wegenkaart in de auto te stappen en je weg te vinden, of vliegtuigen veilig aan de grond te zetten.

### *Historie*

Satellietnavigatie speelt tegenwoordig een belangrijke rol in allerlei toepassingen in het dagelijks leven. De oorsprong is echter militair. Het oudste satellietnavigatiesysteem, het Transitsysteem, werd ontwikkeld door de Amerikanen voor duikbootnavigatie en werd operationeel in 1964. Er werd gebruik gemaakt van het Dopplereffect van satelliet-signalen. De afwijking in een positiebepaling bedroeg al snel enkele honderden meters en werd daarom meestal gecombineerd met terrestrische systemen zoals Loran. De Russen volgden met hun Tsyklon- en Tsikada-systemen (1976) en Europa (CNES) ontwikkelde in samenwerking met de Amerikanen het ARGOS-systeem. Dit systeem maakte gebruik van twee TIROS weersatellieten en werd onder andere ingezet voor het volgen van dieren tijdens hun periodieke trektocht.

### *Huidige systemen*

Huidige systemen zoals het Amerikaanse NAVSTAR GPS - Navigation Signal Timing And Ranging Global Positioning System en het Russische GLONASS - Global'naya Navigacionnaya Sputnikovaya Sistema gebruiken constellaties van 24 satellieten in

middelhoge satellietbanen. Door de slechte economische situatie in Rusland zijn van het Glonass-systeem echter nog slechts negen satellieten operationeel. Deze huidige systemen maken echter niet meer gebruik van het Dopplereffect maar van atoomklokken en zenden satelliet-specifieke signalen uit [[www.trimble.com/gps](http://www.trimble.com/gps)].

De Europese activiteiten op het gebied van satellietnavigatie zijn gebundeld in EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay Service en het Galileo-project (zie artikel in deze Ruimtevaart). Deze projecten zijn een samenwerking tussen ESA en de Europese Unie. Het doel is de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van GPS en Glonass te overtreffen en daarmee nieuwe toepassingen in de luchtvaart en binnenvaart mogelijk te maken. Het EGNOS-systeem maakt gebruik van Inmarsat-3 geostationaire satellieten. Het is nu al mogelijk om via internet (GSM of GPRS) zeer nauwkeurige real-time EGNOS-informatie te ontvangen met behulp van de Signal-In-Space website (SISNeT).

In Nederland is het NLR in samenwerking met TNO en Dutch Space betrokken bij de ontwikkeling van Galileo. Er worden onder andere verificatie- en validatiewerkzaamheden verricht. In dit kader zijn door het NLR in Nice meetvluchten uitgevoerd om het EGNOS-systeem te valideren. Meer informatie is te vinden op de NLR-website over satellietnavigatie SATNAV.

Naast een goede uitleg van de principes van satellietnavigatie zijn ook veel websites te vinden met meer gedetailleerde informatie over navigatie en communicatie.

Alle hier genoemde websites zijn te benaderen via de website van de NVR.



Oscar satelliet van de Transit constellatie. [FAS]

# Groene stuwstoffen: ruimtevaart zonder hydrazine

*Ir. H.M. Sanders  
TNO Prins Maurits Laboratorium*

Sinds enkele jaren zijn er veranderingen gaande op het gebied van voortstuwingssystemen voor satellieten. Om kosteneffectiever te werken, wordt er getracht om de prestaties te verhogen bij gelijkblijvende kosten of om de kosten te verlagen bij gelijke prestaties. Daarnaast wordt ook van de ruimtevaart verwacht dat zij duurzamer en dus milieuvriendelijker gaat werken.

## Inleiding

Een van de mogelijkheden om alle drie deze doelstellingen (prestaties verhogen, kosten verlagen en duurzamer werken) te bereiken, is door over te schakelen van de gebruikelijke stuwstof hydrazine naar alternatieve stuwstoffen. Er wordt dan ook op verschillende plaatsen in de wereld gewerkt aan het ontwikkelen van deze alternatieven.

De belangrijkste kandidaten voor het vervangen van hydrazine zijn de zogenaamde groene monostuwstoffen. Deze stuwstoffen vervangen hydrazine in de toepassing zonder verbranding met een oxidans. In deze kleine raketmotoren wordt hydrazine door middel van een katalysator ontleed in heet gas dat daarna via een uitlaat wordt uitgestoten. Voor motoren waar hydrazine wordt verbrand met een andere stuwstof (bi-stuwstoffen), kunnen sommige van deze monostuwstoffen ook worden gebruikt. Vaak is dit niet nodig omdat de prestaties van de monostuwstoffen alleen al zo dicht bij de prestaties van een bi-stuwstof liggen, dat de complexiteit van een extra stuwstof niet nodig is.

Dit artikel zal zich beperken tot de monostuwstofvervangers van hydrazine in toepassingen zonder verbranding.

## Voordelen van groene stuwstoffen

Hoewel milieuvriendelijkheid een zeer nobel streven is, is het feit dat de stuwstoffen 'groen' zijn op zichzelf geen reden genoeg om ze toe te passen. Door de zeer kleine omvang van het verbruik van stuwstoffen in de ruim-

tevaart in vergelijking met het wegtransport of bijvoorbeeld de luchtvaart en de strenge veiligheidsvoorzieningen is vervuiling door deze stuwstoffen verwaarloosbaar. Echter, in de huidige markt bieden deze stuwstoffen ook verschillende economische voordelen die hun toepassing aantrekkelijk maken. Allereerst bieden de monostuwstoffen uitzicht op hogere prestaties en een hogere dichtheid. Hierdoor kan het voortstuwingssysteem kleiner worden en kan er meer nuttige lading mee. Als door verkleining van het voortstuwingssysteem meer communicatielading mee kan, is dat voor een communicatiesatelliet vaak een flinke investering waard. Vanwege het feit dat monostuwstoffen veel minder giftig zijn dan hydrazine, hoeft men veel minder veiligheidsvoorzieningen te nemen. Het vullen van een satelliet met hydrazine moet in aparte gebouwen gebeuren door mannen in astronautenpakken. Als dit vullen in dezelfde omgeving kan gebeuren waar de satelliet wordt klaargemaakt voor de lancering, kan dit veel speciale infrastructuur schelen en dus geld. Naast het besparen op infrastructuur scheelt het ook tijd omdat men niet naar een speciaal gebouw hoeft waar geen andere werkzaamheden aan de satelliet kunnen worden uitgevoerd. Als een team van enkele tientallen mensen op een lanceerbasis ver weg enkele dagen eerder naar huis kan, bespaart men een aanzienlijk bedrag.

## Soorten monostuwstoffen

Wat zijn die monostuwstoffen en wat is hun samenstelling? Waterstofperoxide is als monostuwstof een oude bekende in de

ruimtevaart. Deze stof is in de jaren vijftig en zestig veel gebruikt als monostuwstof, maar werd meer en meer vervangen door hydrazine omdat deze beter presteerde. Nu lage kosten en milieuvriendelijkheid belangrijker worden, maakt waterstofperoxide een comeback. Moderne monostuwstoffen zoals HAN, AND en HNF bestaan vrijwel allemaal uit in water opgeloste vaste energetische stoffen, eventueel met enkele toevoegingen.

### *Waterstofperoxide*

Geconcentreerd waterstofperoxide (80-98% waterstofperoxide) werd al als een monostuwstof gebruikt in de V2. Daar werd waterstofperoxide gebruikt om de turbine aan te drijven. In de jaren vijftig was het een veel gebruikte raketbrandstof en werden kleine raketmotoren met waterstofperoxide gebruikt als stuurraketten in bijvoorbeeld de X-15 en de Mercury capsules. Het gebruik van waterstofperoxide raketjes is echter beperkt gebleven tot kort durende missies, voornamelijk vanwege het feit dat waterstofperoxide gedurende opslag langzaam uit elkaar valt. Omdat hydrazine gemakkelijker voor lange duur op te slaan is en de prestaties een stuk hoger liggen verloor waterstofperoxide in de jaren zestig terrein als monostuwstof en werd daarna maar zeer sporadisch gebruikt. In de jaren negentig kwam waterstofperoxide weer volop in de belangstelling te staan vanwege het feit dat het veel minder giftig is dan hydrazine. Daarnaast heeft het een veel grotere dichtheid dan hydrazine, hetgeen betekent dat in een tank bijna twee keer zoveel waterstofperoxide kan dan hydrazine.

Het grote voordeel van waterstofperoxide is dat men er al veel ervaring mee heeft en dat het op voorraad leverbaar is. Daarnaast is het op veel manieren te gebruiken, als monostuwstof, als oxidans met een brandstof en in hybride motoren. Nadelen zijn er ook. De prestaties zijn aanmerkelijk minder dan die van hydrazine en hoewel waterstofperoxide niet giftig is, is het een zeer irriterende stof die bij aanraking brandwonden kan veroorzaken. Tot slot verdampt waterstofperoxide redelijk snel zodat er irriterende dampen ontstaan. Men moet daarom wel enige beschermende kleding dragen als men omgaat met geconcentreerd waterstofperoxide.

Op dit moment wordt er in de Verenigde Staten en in Engeland gewerkt aan raketmotoren die gebruik maken van waterstofperoxide. Bij Surrey Satellite Technologies wordt een kleine raketmotor ontwikkeld en in Amerika is men bezig te kijken of de opslag van waterstofperoxide verbeterd kan worden. Hierbij heeft men enig succes geboekt in het stabiliseren van waterstofperoxide door het toevoegen van stoffen. Het is dan ook zeer waarschijnlijk dat er binnen afzienbare tijd ruimteschepen zullen vliegen waarin waterstofperoxide als monostuwstof wordt gebruikt. Of waterstofperoxide algemene ingang zal vinden, valt te betwijfelen omdat er andere kandidaten zijn die de nadelen van waterstofperoxide (beperkte opslag en lage prestaties) niet hebben.

### *HAN monostuwstoffen*

HAN is een voorbeeld van de nieuwe generatie monostuwstoffen. HAN (Hydroxyl Ammonium Nitraat) wordt in de Verenigde Staten ontwikkeld als een vervanger van hydrazine. HAN is in principe een energierijk zout, dat opgelost in water een monostuwstof vormt. HAN is in principe een oxidans omdat het veel zuurstof bevat. Om de prestaties van de monostuwstof te verhogen kan er naast HAN ook andere stoffen in het water worden opgelost. Door te variëren met verschillende toevoegingen en de concentraties van HAN in water, kan een grote verscheidenheid aan stuwstoffen worden gemaakt. De ontwikkeling van HAN voor raketmotoren is een spin-off van de ontwikkeling van HAN als een vloeibaar kruit voor artillerie toepassingen. Testen zijn al uitgevoerd met een ontwikkelingsraketmotor. Deze motor heeft al 8000 seconden gewerkt op HAN monostuwstoffen. In vergelijking met hydrazine is HAN veel minder giftig. Er komen geen dampen van een HAN oplossing. Wel moet men handschoenen en waterafstotende kleding dragen. HAN monostuwstoffen hebben een specifieke impuls die zo'n 15% hoger ligt dan die van hydrazine. De dichtheid van HAN stuwstoffen is hoog, zo'n 1400 kg/m<sup>3</sup>, dit is evenveel als waterstofperoxide en bijna twee keer zoveel als hydrazine (800 kg/m<sup>3</sup>). HAN lijkt een veelbelovende kandidaat voor toekomstige ruimtevaarttoepassingen. Er is echter nog veel onderzoek en ontwikkeling nodig voordat met deze stuwstof kan worden gevlogen.

### ***ADN monostuwstoffen***

ADN monostuwstoffen zijn gebaseerd op hetzelfde principe als HAN monostuwstoffen. Ook in dit geval is het een zout dat opgelost wordt in water met eventuele andere toevoegingen. ADN (Ammonium Dinitramide) is oorspronkelijk ontwikkeld om de prestaties van vaste stuwstof motoren te verbeteren, echter, opgelost in water kan het als monostuwstof gebruikt worden. ADN monostuwstoffen zijn al enkele jaren in ontwikkeling in Zweden waar men inmiddels al een testmotor heeft afgevuurd. ADN monostuwstoffen zijn niet zwaar giftig, maar men moet wel handschoenen dragen omdat de stof snel door de huid heendringt. AND monostuwstoffen hebben een hoge dichtheid ( $1400 \text{ kg/m}^3$ ) en prestaties die 10% hoger liggen dan die van hydrazine. ADN monostuwstoffen zijn net als HAN een interessante mogelijkheid voor hydrazine te vervangen. Ook hier geldt dat er nog veel ontwikkeling nodig is.

### ***HNF monostuwstoffen***

Ook HNF monostuwstoffen zijn gebaseerd op een zout (Hydrazinium Nitroformaat) dat opgelost wordt in water, met mogelijke andere toevoegingen. HNF monostuwstoffen zijn ontwikkeld bij TNO-PML in Rijswijk. Ook HNF is oorspronkelijk ontwikkeld voor vaste stuwstof motoren waarbij men zich later realiseerde dat het opgelost in water ook als monostuwstof bruikbaar is. HNF monostuwstoffen zijn niet giftig voor aanraking en niet zwaar giftig. In principe zijn er maar zeer beperkte veiligheidsmaatregelen nodig om met HNF monostuwstoffen om te gaan. HNF monostuwstoffen hebben een specifieke impuls die 10 tot 15% hoger ligt dan die van hydrazine en de dichtheid is  $1250 \text{ kg/m}^3$ , beiden afhankelijk van de samenstelling van de stuwstof. Er is nog geen raketmotor gebouwd die met HNF monostuwstoffen werkt, maar HNF heeft in theorie meer mogelijkheden tot grote prestaties. Ook voor HNF monostuwstoffen is nog veel onderzoek en ontwikkeling nodig voordat ermee gevlogen kan worden.

### ***CINCH monostuwstoffen***

CINCH staat voor *Competitive Impulse Non-Carcinogenic Hypergol*, oftewel concurrerende (Specifieke) Impulse, niet kankerverwekkende hypergole stuwstof. Achter deze enigszins verhullende afkorting zit de stof Di Methyl Amino Ethyl Azide. CINCH is oorspronkelijk ontwikkeld als vervanger van hydrazine voor toepassingen met een oxidans. Later bleek CINCH ook als monostuwstof te kunnen werken. Een nadeel is echter de grote hoeveelheid koolstof (roet) die vrijkomt bij het gebruik van CINCH als monostuwstof. Dit kan een raketmotor vervuilen en daarmee de levensduur ervan beperken. CINCH is ontwikkeld in de Verenigde Staten, maar wordt ook op andere plaatsen onderzocht. Op dit moment wordt CINCH op kleine schaal geproduceerd. De prestaties van CINCH liggen ongeveer 10% hoger dan die van hydrazine, terwijl de dichtheid ongeveer hetzelfde is  $933 \text{ kg/m}^3$ .

### **Conclusies**

Het is te vroeg om te roepen dat de dagen van hydrazine als raketbrandstof geteld zijn, maar er zijn een aantal ontwikkelingen gaande die grote potentie hebben. De meeste van deze ontwikkelingen zijn nog niet zo lang aan de gang er moet nog veel werk worden verzet. Het is dan ook op dit moment onduidelijk welke van de hierboven genoemde stuwstoffen daadwerkelijk zullen gaan vliegen. Zeker is wel dat er in de commerciële markt geen plaats is voor al deze monostuwstoffen.

Naast het ontwikkelen van de stuwstoffen moet ook bijbehorende hardware worden ontwikkeld zoals motoren, kleppen, tanks, leidingen en dergelijke, wat ook de nodige inspanning zal kosten. Een succesvolle introductie van een nieuwe monostuwstof kan dan ook alleen plaatsvinden als stuwstof ontwikkelaars, componentenleveranciers, motorenbouwers en systeembouwers goed samenwerken.

# 20° ... 30 °... Injection!

*M.K.R.D.J. Claessens en L.J.Souverein  
Technische Universiteit Delft*

Deze kreet kregen de vier lucht- en ruimtevaarttechniekstudenten Sam Walbers, Louis Souverein, Martijn Jannink en Marline Claessens dertig keer te horen tijdens de paraboolvluchtencampagne van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA. De zogenaamde Student Parabolic Flight Campaign is een jaarlijkse wedstrijd die georganiseerd wordt door de ESA Outreach organisatie die onder leiding staat van de Nederlandse astronaut Wubbo Ockels. De wedstrijd moedigt studenten aan om een experiment te bedenken dat in gewichtloze toestand moet worden uitgevoerd. Het experiment moet origineel zijn en eenvoudig te bedienen tijdens de gewichtloze toestand van 20 seconden, die ontstaat wanneer een vliegtuig in verticale richting een paraboolvormig traject vliegt. Van de 120 inzendingen werd die van de genoemde vier studenten als enige uit Nederland geselecteerd. In totaal werden er dertig teams geselecteerd vanuit heel Europa. De TU studenten bedachten een experiment om massa te bepalen in gewichtloze toestand. Ze noemen zichzelf dan ook toepasselijk de Weightless Weight Watchers.

## Het ontwerp

Aangezien het al om de vijfde campagne ging, was het geen conditio sine qua non om nog met een haalbaar en interessant experiment op de proppen te komen. Zoals het altijd met ontwerpen gaat, werd er eerst gebrainstormd voor ideeën. Het team werd reeds vanaf het begin met raad en daad bijgestaan door het

Nationaal Lucht - en Ruimtevaart Laboratorium (NLR) afdeling Noordoostpolder. Uit zo'n vijftiental ideeën werd uiteindelijk het plan gekozen om een ruimteweegschaal te gaan maken. Wegen, zoals we dat kennen op aarde, kan in gewichtloosheid niet, maar massa bepalen wel. Dit kan bijvoorbeeld op basis van centrifugaalkrachten of op basis van trillingen. Voor beide principes



Het Weightless Weight Watchers team bij het massabepalings experiment in het A300 ZERO-G vliegtuig. [Weightless Weight Watchers]

werden verschillende concepten bedacht. Na een aantal overwegingen met het NLR werd gekozen voor een apparaat op basis van een massa-veersysteem. De volgende vraag was of het experiment vrij zwevend zou gaan worden of zou worden vastgezet in het vliegtuig, een keuze die grote invloed op het ontwerp heeft. Onder andere vanwege de strenge maatregelen die de verhuurder van het vliegtuig, Novespace, stelde bij vrij zwevende experimenten werd gekozen om die optie te verwerpen. Het vaste ontwerp zoals te zien is op de afbeelding werd dus uiteindelijk gekozen.

De weegschaal werd ontworpen voor het bepalen van massa's in een bereik van 50 tot 500 gram met een afwijking van niet meer dan één procent. Een testkamer is vastgemaakt aan twee veren en beweegt in een drie stangen constructie. Deze is onder andere nodig om excentriciteiten op te vangen. De testkamer met daarin de te bepalen massa wordt aangedreven door een motor. Deze motor en het bijbehorende aandrijfmechanisme werden, samen met een deel van de constructie van het experiment, gemaakt door TNO Space in Delft. De roterende beweging van de motor wordt door een mechanisme omgezet in een translerende. Het geheel is afgeschermd door Lexanplaten. Om buiten het resonantiegebied te blijven is het noodzakelijk dat de aandrijffrequentie van de motor groter is dan de eigenfrequentie van het massa-veersysteem. Hierbij is voor een aandrijffrequentie boven de eigenfrequentie gekozen om geen praktische bovengrens te stellen aan de massa die bepaald kan worden. Op de testkamer is een versnellingsmeter gemonteerd die de versnelling van

de testkamer in de richting van de beweging meet. De dataregistratie gebeurt via een data acquisitiebox die het NLR ter beschikking stelde. Een computerprogramma in Labview leest de data uit. Als testmassa's werden stukken messing gebruikt, maar ook containertjes half gevuld met bloem en water werden getest om het effect van gewichtloosheid op de trilling van de vloeistof te zien.

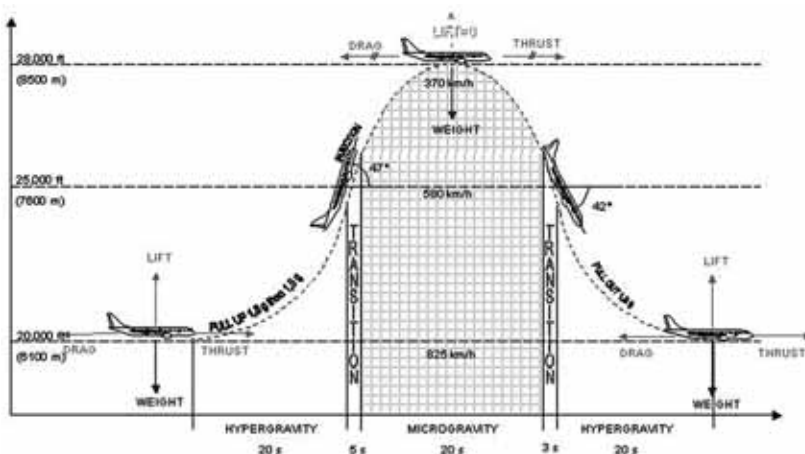
## Belang van het ontwerp

Het idee van massabepaling in microzwaartekracht bestaat natuurlijk al langer. Door ESA zijn al 1-g centrifuges gemaakt voor het International Space Station, ISS. Deze worden vooral gebruikt in experimenten met planten. Wanneer men echter de massa wil bepalen van astronauten of dieren dan is het natuurlijk geen goed idee om centrifuges te gebruiken. Een apparaat volgens het principe van trilling zou wel toepasbaar kunnen zijn. Het probleem bij dit soort metingen is het ontstaan van secundaire trillingen ten gevolge van de beweging van de organen van mens of dier. Dit zorgt voor interferentie met de primaire meting. Er zou een Eindige Elementen Methode computermodel van alle organen moeten gemaakt worden om deze effecten in rekening te kunnen nemen. Dit is geen eenvoudige opgave. Op dit ogenblik is er geen ruimteweegschaal aanwezig in het ISS omdat meestal alles van tevoren wordt afgewogen op aarde en omdat dit soort praktische experimenten geen prioriteit heeft.

## Resultaten

Het experiment werkte naar verwachting in beide vluchten (twee vluchten met telkens 30 parabolen). Per gevlogen parabool werd telkens één testmassa gebruikt, alle testmassa's werden twee tot vier maal gewogen om voldoende (binnen het totaal van 60 parabolen) gegevens te hebben voor een statistische analyse. Het experiment, met dezelfde testmassa's, werd tevens op aarde uitgevoerd om een goede vergelijking te kunnen maken. Het belangrijkste aspect van de metingen is te kijken of de vooropgestelde nauwkeurigheid van niet meer dan één procent afwijking werd gehaald.

Verloop van het parabolische vluchtprofiel van het ZERO-G vliegtuig. [Novespace]



Het analyseren van de data werd als volgt aangepakt. In eerste instantie werd de eigen frequentie voor een bepaalde testmassa geschat door middel van een wiskundige Fast Fourier Transformatie. Deze aanpak heeft echter een inherente onnauwkeurigheid die afhankelijk is van de meetperiode. De nauwkeurigheid bleek echter bij lange na niet voldoende te zijn om aan de precisie eis van één procent te voldoen. Aangezien de meetperiode vast ligt door de duur van de gewichtloosheid tijdens een parabool, is het niet mogelijk om een hogere nauwkeurigheid te bereiken door deze te verlengen. Daarom werden de schattingen en het bekende domein van nauwkeurigheid gebruikt om een optimalisatie uit te voeren. Hierbij werd geprobeerd om een theoretische trilling, die uit een wiskundig model van het experiment volgt, zo goed mogelijk overeen te laten komen met de gemeten trilling. Zo werd een nauwkeurigere waarde voor de eigen frequentie verkregen. Aangezien de lege massa van testkamer, de massa van de veren en de veerstijfheden bekend waren, kon uit deze waarde vervolgens de testmassa bepaald worden. De nauwkeurigheid van een meting hangt ook af van de testmassa in de testkamer. Met lichtere testmassa's worden minder goede nauwkeurigheden bereikt dan met zwaardere. Dit komt omdat de massa van de testkamer relatief hoger is bij gebruik van lichte testmassa's en de te meten massa dan teveel binnen de marge van onnauwkeurigheid valt. Voor de lichte testmassa's (50 gram) werd een meetafwijking van niet minder dan 25% behaald, maar de zwaardere testmassa's van 500 gram konden tot op 1,5% nauwkeurig worden bepaald. Een totale meetnauwkeurigheid van 2% werd bereikt met betrekking tot de bepaling van de testmassa plus de massa van de testkamer. Dat de totale afwijking niet lager is dan 2% is een belangrijke constatering. Het betekent dat als de massa van de testkamer t.o.v. de testmassa kleiner gemaakt kan worden, een hogere nauwkeurigheid kan worden bereikt. Dit biedt goede vooruitzichten voor deze methode van massabepaling.

## De ervaring

Het zou mooi zijn indien het experiment op een of andere manier zijn toepassing zou vinden in het ISS, maar het is natuurlijk ook duidelijk dat elk lid van het team er naar uitkeek om het gevoel van gewichtloosheid te ervaren. Deze toestand kan voor mensen op aarde enkel met een paraboolvlucht worden bereikt. We hebben niet allemaal de kans om astronaut te worden.

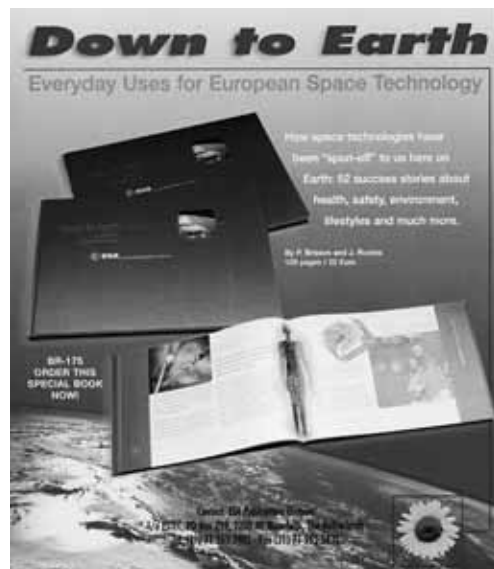
De eerste kennismaking met het fenomeen gewichtloosheid begon met de initiatievlucht waarin vijf parabolen werden gedemonstreerd. Tijdens die vlucht moest er gewoon in de stoelen vooraan en achteraan in het vliegtuig worden plaatsgenomen en dus niet bij het experiment. Aangezien het Zero-G vliegtuig de bijnaam *Vomit Comet* heeft, was het aan te raden om medicatie te nemen, bestaande uit een combinatie van scopolamine en amfetamine. Scopolamine werkt tegen de misselijkheid terwijl de amfetamine ervoor zorgt dat je niet te suf wordt van het eerste middel. Het is ook aan te raden om niet te zwaar te gaan stappen vóór een paraboolvlucht. Bij de initiatievlucht heeft het hele team slechts een halve dosis medicatie genomen om te zien hoe ver er gegaan kon worden met een lichte dosis. Slechts een persoon van het team is bij de laatste parabool van deze vlucht misselijk geworden. De schrik zat er wel in voor de volgende vlucht met dertig parabolen. Daarvoor werd er toch sterk aangedrongen om een volledige dosis medicatie te nemen. Wonder boven wonder is er niemand zwaar ziek geworden tijdens de echte testvlucht en kon er optimaal genoten worden van de gewichtloosheid. De meeste mensen hebben problemen met de overgang van de 2-g, de hyperzwaartekracht toestand, naar 0-g. De hersenen komen in een andere toestand terecht, evenwichtsorganen werken niet meer en vooral, je weegt niets. Het gevoel is te vergelijken met de kriebels in je buik tijdens een ritje in een achtbaan. Je hebt dan het idee dat je zweeft. Het is een onbeschrijfelijk gevoel dat eenieder van het team zeker nog een keer zou willen meemaken.

Henk H.F. Smid  
ribs Space Consultancy & Insurance

## Down to Earth

Het Europese ruimtevaartagentschap ESA heeft een boek uitgegeven met als titel: Down to Earth. Deze Engelse term betekent in het dagelijks gebruik 'met beide benen op de grond staan' en dat is wat de titel van het boek duidelijk probeert te maken. Ruimtevaart technologie is gewoon geworden en de toepassing daarvan onderdeel van ons dagelijks leven. Toch is het geen gewoon boek geworden. Het maakt duidelijk dat ruimtevaart is ontstaan met behulp van aardse technologieën en via innovatieve ontwikkelingen nu vaak aardse technologieën ondersteunt. Heden ten dage heet dit *spin in* en *spin off*.

Het boek neemt ons mee op een toer over de aarde en door onze belevingswereld en laat zien waar ruimtevaarttechnologie de mensheid tot ondersteuning kan zijn. Als eerste wordt gekeken naar onze natuur, *our living world*, en laat de interactie zien tussen technologie en natuur. Onderwerpen als zuiver water, klimaat waarneming, vegetatie monitoring, maar ook bijvoorbeeld mobiele telefonie en de consequenties daarvan komen aan de orde.



In verdere hoofdstukken worden begrippen als energie, gezond leven en veiligheid in relatie tot ruimtevaarttechnologie verder uitgediept. Het is niet zo dat als we geen ruimtevaart zouden hebben gehad we ons ook niet al die nieuwe technologieën zouden hebben meester gemaakt. Het is wel zo dat ruimtevaart vaak een stimulans was en nog steeds is om nieuwe technieken en technologieën uit te dokteren. En dat zal in de voorziene toekomst ook wel zo blijven.

Het boek besteedt daarom veel aandacht aan die toekomst en laat zien waar en voor welke problemen ruimtevaart technologie een oplossing kan zijn. Zaken als het ontwikkelen van nieuwe software, schonere motoren, draadloze communicatie en data-uitwisseling, en de ontwikkeling van nieuwe materialen zijn slechts een aantal van de onderwerpen die aan bod komen.

De eerste 40 jaren van ruimtevaart *spin off* heeft ons onder meer kleinere en snellere computers gebracht, exotische materialen en een hoop geavanceerde technologieën die ons dagelijks leven kunnen verbeteren. Volgens de schrijvers van dit boek zal de *spin off* van de volgende 40 jaren de belangrijkheid van langdurige bemande ruimtevaart en de ontwikkeling van geminiaturiseerde satellietssystemen benadrukken.

Pierre Brisson (Hoofd ESA Technology Transfer Programma) en John Rootes (Managing director van het Engelse Technology Transfer Support Consultancy JRA) hebben gezamenlijk voor een mooie aanwinst gezorgd voor de uitgebreide ESA bibliotheek. De onderwerpen in het boek zijn in 52 verhalen begrijpbaar beschreven (in het Engels) en met mooie foto's ondersteund.

Down to Earth  
Everyday Uses For European Space Technology,  
P. Brisson & J. Rootes  
ESA Publications BR-175, €25  
ESTEC, Postbus 299, 2200 AG Noordwijk

*Ir. A.C. Atzei, Dr. J.J. Blom, Ing. M.C.A.M. van der List en Ir. M.O. van Pelt*

## **Columbia en bemanning verloren**

Op 1 februari om 13:59 uur GMT verloor de vluchtleiding in Houston het contact met de space shuttle Columbia. Het ruimteveer maakte toen net zijn vurige terugkeer in de dampkring aan het einde van een zeer succesvolle STS-107 missie en was nog zestien minuten verwijderd van de landingsbaan op het Kennedy Space Center. Terwijl Houston probeerde weer contact te maken met de Columbia, zagen duizenden ooggetuigen in Texas hoe de shuttle in delen uiteenviel en steeds verder fragmenteerde. De televisie-beelden die daarna de wereld overgingen, vertelden alleen de harde waarheid: voor de tweede keer was een shuttle verloren gegaan en was de bemanning daarbij omgekomen.

Het eerste deel van de terugkeer verliep zonder problemen tot acht minuten voor het verlies van contact met de Columbia. Uit telemetrie bleek dat enkele sensoren in het linkerlandinggestel een niet-nominale temperatuurstijging van enkele graden per minuut registreerden. Enkele momenten later viel het signaal van een temperatuursensor nabij het rolroer achter aan de linkervleugel uit. Deze sensor had vóór de uitval geen temperatuurstijging gemeten. Shuttle manager Ron Dittermore zei: "dat het was alsof iets of iemand de kabel had doorgeknipt". In de minuten daarna vielen meer sensoren in de linkervleugel weg, terwijl nabij het landinggestel een gestaag stijgende temperatuur werd gemeten. Één minuut voor contactverlies vielen tegelijkertijd de signalen weg van de druksensoren die de bandenspanning van de twee wielen aan het linkerlandinggestel meten. Deze melding kwam zowel op de consoles van de vluchtleiding als op de schermen in de cockpit en werd door commandant Rick Husband bevestigd door de daarvoor bestemde knop in te drukken. Een mogelijke opmerking hierover van een van de astronauten in de Colum-

bia aan de vluchtleiders ging echter verloren in radioruï. De vluchtleiding meldde aan de astronauten: "Columbia, Houston, we zien jullie bandenspanningwaarden en we konden jullie laatste bericht niet verstaan." Commandant Rick Husband antwoordde met: "Roger, uh, ..." Op dat moment ging het contact met de bemanning verloren en een viertal seconden later vielen ook de resterende sensorgegevens van de shuttle weg. In het korte moment voor ook die laatste signalen verdwenen, zagen de vluchtleiders hoe de linkerrolroeren tot hun maximum stand van  $8,1^\circ$  omhoog gedraaid werden en twee stuwaketten aan de rechterzijde voor 1,5 seconden werden ontstoken; dit alles in een poging van de stuurcomputers om de Columbia op koers te houden. Later maakte NASA bekend dat daarna nog gedurende 32 seconden zeer zwakke signalen ontvangen zijn, maar deze hebben tot op heden geen bruikbare gegevens opgeleverd.

Brokstukken van de Columbia kwamen voornamelijk neer in de staten Texas en Louisiana. Het spoor begon ter hoogte van Fort Worth in Texas en loopt door tot net over de grens met Louisiana. De Columbia viel uiteen in kleine brokstukken; de meeste waren niet meer dan twee meter groot. Een gedeelte van de neus werd gevonden nabij Nacogdoches, alsmede delen van de hoofdmotoren. Later werd een groot deel van de linkervleugel gevonden nabij Fort Worth. In Californië en Arizona zijn ook kleine fragmenten gevonden die mogelijk in een vroeg stadium van de shuttle afgevallen zouden kunnen zijn, maar een positieve identificatie kon niet direct worden gemaakt. NASA heeft in samenwerking met diverse overheidsinstanties, zoals de Nationale Garde en de landmacht, bijna 1500 mensen ingezet om de overblijfselen van de shuttle en haar bemanning te lokaliseren en te bergen. Op 12 februari arriveerden de eerste vrachtwagens met resten van de shuttle op het Kennedy Space Center in Florida.

Deze resten werden uitgelegd op de vloer van de Reusable Launch Vehicle Hangar nabij de shuttle landingsbaan. Er moet echter rekening worden gehouden met dat delen van de shuttle bijvoorbeeld in water (meren) terecht zijn gekomen en nooit meer gevonden zullen worden. De videobeelden van ooggetuigen zullen een belangrijke rol spelen in het onderzoek, zeker ook de beelden die zijn opgenomen door Nederlandse piloten die met een Apache helikopter in Texas op oefening waren. Daarop staan onder meer een nauwkeurige tijd- en richtingaanduiding van de camera, zodat het traject dat de verschillende brokstukken door de atmosfeer aflegden, nauwkeurig gereconstrueerd kan worden.

Enkele dagen na het ongeluk werden de onderzoekspanningen gebundeld in de onafhankelijke *Columbia Accident Investigation Board*, voorgezeten door de admiraal b.d. Harold Gehman Jr. Omdat de problemen klaarblijkelijk begonnen zijn in de linkervleugel, richt het onderzoek is zich in eerste instantie op dat deel van de shuttle. Een directe oorzaak voor het falen is op het moment van schrijven nog niet vastgesteld.

Over de astronauten heeft NASA uit pieteit met de nabestaanden weinig bekend gemaakt. Van alle astronauten zijn stoffelijke resten gevonden en geïdentificeerd. Deze werden op 5 februari naar Dover Air Force Base in Delaware gebracht. Op maandag 10 februari werd het stoffelijk overschot van Ilan Ramon overgevlogen naar Israël. Premier Ariel Sharon leidde diezelfde avond een speciale herdenkingsdienst in een hangar op het vliegveld van Tel Aviv. Een dag later werd Ramon ter aarde besteld in het kleine dorpje Nahalal in het noorden van Israël.

STS-107 was de 113-de vlucht van een space shuttle en de 88-ste sinds de Challenger catastrofe. Columbia was de oudste shuttle in de vloot en maakte zijn achtentwintigste vlucht toen ze verongelukte.

### Shuttlevluchten opgeschort

Als gevolg van het ongeluk met de shuttle Columbia zijn alle shuttlevluchten tot nader

order opgeschort. De eerstvolgende vlucht was gepland voor 1 maart. De Atlantis zou verse voorraden en de zevende expeditiebemanning naar het ruimtestation ISS brengen gedurende missie STS-114. Tijdens een daaropvolgende shuttlevlucht (STS-115) zou een nieuwe set grote Amerikaanse zonnepanelen geïnstalleerd worden.

Het is duidelijk dat het ISS-programma het meeste te lijden zal hebben van het opschorten van de shuttlevluchten. Bijna alle shuttlevluchten voor de komende jaren zijn gerelateerd aan de bouw en bevoorrading van het ruimtestation. De komende tijd zal men moeten vertrouwen op de Russische lanceercapaciteit in de vorm van de Soyuz en Progress ruimteschepen. Hierdoor is het nog onduidelijk of men kan doorgaan met wetenschappelijk onderzoek in het ruimtestation en of men moet overgaan op andere scenario's om het ISS bemand te houden. De driekoppige Expeditie-6 bemanning die nu aan boord van het ruimtestation woont, heeft voldoende voorraden om het tot juni van dit jaar uit te houden. Als er tegen die tijd geen shuttlevlucht is, wat zeer waarschijnlijk is, dan zal de Expeditie-6 bemanning met de momenteel aan het station afgemeerde Soyuz capsule terugkeren naar de aarde. Kort daarvoor zal dan naar alle waarschijnlijkheid met een andere Soyuz een nieuwe bemanning gelanceerd worden.

Ook de Hubble ruimtetelescoop kan op lange termijn gevolgen van dit ongeluk ondervinden. Voor 2004 staat namelijk de vierde onderhoudsmissie naar dit observatorium op het programma. Naast het plaatsen van nieuwe instrumenten hadden astronauten onderhoud aan het observatorium moeten uitvoeren. Het uitstellen van deze vlucht houdt in dat nieuwe instrumenten niet alleen korter gebruikt kunnen worden, maar de kans op een grote storing in de Hubble ook toeneemt.

### Nederlandse Experimenten verloren met Columbia

Ook diverse Nederlandse bedrijven en instellingen zijn getroffen door het ongeluk met de Columbia. Zo hadden de Vrije Universiteit



Het internationale ruimtestation ISS zoals het op 2 december 2002 werd gefotografeerd door een bemanningslid aan boord van het ruimteteveer Endeavour juist nadat deze had losgekoppeld van het station. [NASA]

van Amsterdam, VUA, en de Universiteit van Groningen experimenten aan boord gerelateerd aan respectievelijk botontkalking en biologische luchtfilters. Verder wachtte een team van de VUA op de landingsplaats in Florida om de astronauten direct na de landing te kunnen onderzoeken op de effecten van gewichtloosheid. De bemanning was ook diverse malen in Nederland geweest zodat de onderzoekers referentiegegevens konden verzamelen, waarmee de effecten na de vlucht vastgesteld zouden kunnen worden.

Het Brabantse bedrijf Bradford Engineering B.V. had de Biopack faciliteit aan boord van de Columbia. Biopack maakte zijn eerste vlucht en bestaat uit een koeler/vriezercombinatie en drie centrifuges waarin de zwaartekracht gevarieerd kan worden. CCM had een grote bijdrage in de ontwikkeling en bouw van experiment modules voor de Biobox faciliteit. Ook Dutch Space is betrokken geweest bij beide genoemde faciliteiten.

## Belgische ESA astronaut vliegt naar het ISS

Eind oktober vorig jaar werd vanaf de Russische basis Baikonur in Kazachstan de Soyuz TMA-1 gelanceerd, met aan boord de Russen Sergei Zalyotin en Valentinovich Lonchakov en de Belgische ESA astronaut Frank

de Winne. Twee dagen later koppelde het ruimteschip met het ISS. Hoofddoel van de missie was het wisselen van de oudere Soyuz TM-34 die al sinds april als reddingvoertuig aan het ruimtestation gekoppeld zat. De Soyuz-TMA is een aangepaste versie van de Soyuz-TM capsule zoals die al sinds 1986 wordt gebruikt. Het heeft een licht gewijzigd interieur waardoor langere personen in de capsule passen, noodzakelijk omdat de gemiddelde Amerikaanse astronaut langer is dan Russische cosmonauten. Verder werd het instrumentenpaneel vernieuwd met onder andere digitale beeldschermen en is het remraketsysteem verbeterd om de schok bij de parachutelanding op de steppebodem van Kazachstan verder te reduceren. Aan boord van het ISS werden de drie gasten verwelkomd door de Expedition-5 bemanning, bestaande uit de Russen Valery Korzun en Sergey Treshchev en de Amerikaanse Peggy Whitson. Zij woonden al sinds juni aan boord van het ruimtestation. Frank de Winne hield zich gedurende zijn verblijf voornamelijk bezig met het uitvoeren van de 23 experimenten die hij meebracht.

## STS-113

Volgend op de vlucht van de Winne werd de space shuttle Endeavour richting ISS gelanceerd. Belangrijkste doel was het installeren van een nieuw segment, de P1-Truss con-

structie, en het aflossen van de Expeditie-5 bemanning. De nieuwe Expeditie-6 bemanning die omhoog werd gestuurd bestond uit de Amerikanen Ken Bowersox als commandant en Don Pettit als wetenschapsofficier, en de Rus Nikolai Budarin als vluchtingenieur. De robotarm van de Endeavour werd gebruikt om de 13,5 meter lange, 14 ton zware P1-Truss uit het vrachtruim van de shuttle te halen en over te geven aan de Canadarm-2 van het ISS. Dit was de eerste keer dat een module door de ene robotarm aan een andere werd doorgegeven. De Canadarm-2 plaatste de P1-Truss tegen het uiteinde van de in april geïnstalleerde So-Truss, waarna beide delen door middel van gemotoriseerde bouten verbonden werden. Vervolgens verlieten de twee shuttle astronauten Lopez-Alegria en Herrington de luchtsluis Quest om diverse elektrische verbindingen tussen de So- en de P1-Truss aan te brengen. Tijdens de tweede ruimtewandeling installeerden de astronauten diverse leidingen waardoor ammonia koelmiddel tussen de modules en de radiatoren op de P1-Truss kan circuleren. Ook werden diverse antennes ten behoeve van de videocamera's op de ruimtepakken van de astronauten op de Unity module en de P1-Truss geplaatst. Twee dagen later begonnen Lopez-Alegria en Herrington aan hun derde en laatste ruimtewandeling. Hun eerste taak was de Mobile Transporter, een karretje waarmee de Canadarm 2 zich over de Truss

kan verplaatsen, te inspecteren. Deze was de dag ervoor naar het uiteinde van de P1-Truss gedirigeerd. Het wagentje kon daar echter niet komen omdat een opgevouwen antenne de rails blokkeerde. Nadat de astronauten de antenne weg hadden gehaald, kon de Mobile Transporter zijn reis voortzetten. Vervolgens richtten het tweetal hun aandacht op het afmaken van de installatie van de ammonialeidingen.

Na het ontkoppelen van het ISS zette Endeavour nog twee minisatellietjes uit die door middel van een dunne kabel met elkaar verbonden waren. Op 4 december zou Endeavour landen op het Kennedy Space Center in Florida, maar de ijzige storm die de oostkust van de Verenigde Staten teisterde, maakte dit onmogelijk. Ook op 5 en 6 december kon de landing niet doorgaan en bleef de Endeavour in de ruimte. Uiteindelijk kon er op 7 december dan toch op het Kennedy Space Center geland worden.

## Nederlandse satelliet gelanceerd

De één-na-laatste Ariane 4 bracht op 17 december vorig jaar de communicatiesatelliet NSS-6 voor het in Nederland gevestigde bedrijf New Skies in een geostationaire overgangsbanaan. De door Lockheed Martin gebouwde satelliet werd uiteindelijk in een geostationaire positie op 95°oost gemanoeuvreed.

## Laatste Ariane 4 gelanceerd

De laatste vlucht met een Ariane 4 draagraket vond plaats op 15 februari 2003. Na drie keer uitstel wegens het weer, werd de 4680 kg wegende telecommunicatiesatelliet Intelsat 907 in een geostationaire omloopbaan gebracht. Vlucht 159 sloot daarmee een periode af van 116 vluchten met een Ariane 4 in een variëteit aan configuraties. De Ariane 4 werd in 1988 in dienst genomen en bracht 159 primaire ladingen en 27 meeliftende ladingen in de ruimte. In totaal werd hierbij een nuttige massa van 400 ton omhoog gebracht. Vlucht 159 was de 74<sup>ste</sup> vlucht op een rij die volkomen foutloos werd uitgevoerd.



De Press-Kit van de laatste Ariane 4 vlucht. [Arianespace]

## Lancering van nieuwe Ariane 5 mislukt

Op 11 december 2002 mislukte de eerste lancering van de opgevoerde Ariane 5 ECA; ongeveer drie minuten na de start liet de Vulcain-2 motor van de eerste trap het afweten. De raket raakte van haar koers, waarna de vluchtleiding besloot het vernietigings-systeem in werking te stellen. De brokstukken van de raket en de satellieten aan boord vielen in de Atlantische Oceaan. Onderzoek heeft inmiddels uitgewezen dat een falend koelsysteem in de motor de oorzaak van het probleem was. De Ariane 5 ECA is een krachtigere versie van de standaard Ariane 5, met een verbeterde hoofdmotor en een nieuwe tweede Cryogene trap. De Ariane had twee satellieten, Stentor en Hot Bird-7, in een geostationaire overgangsbahn moeten plaatsen. Stentor was een Franse experimentele communicatiesatelliet, Hot Bird 7 was een commerciële communicatiesatelliet voor Eutelsat.

Van de veertien Ariane 5 lanceringen tot nu toe zijn er drie volledig en één gedeeltelijk mislukt, hetgeen zeer slecht is voor de concurrentiepositie van Arianespace.

## China lanceert vierde Shenzhou

Op 29 december 2002 werd Shenzhou 4, het vierde onbemande prototype van een in China ontwikkeld bemanbaar ruimtevoertuig, gelanceerd. De Shenzhou werd met China's krachtigste draagraket, de Lange Mars 2F, in een cirkelvormige baan geplaatst met een hoogte variërend van 198 tot 331 kilometer en een inclinatie van  $42,4^\circ$ . Kort na de lancering gebruikte Shenzhou-4 haar eigen motoren om een nagenoeg cirkelvormige baan tussen 330 en 337 kilometer te bereiken. Ook op de dagen daarna werden manoeuvres uitgevoerd. Op 5 januari splitste het voertuig zich in twee delen; een module dat in de ruimte achterbleef als zelfstandig opererende satelliet en de terugkeercapsule die nog dezelfde dag een geslaagde landing in Binnen-Mongolië maakte. Na deze geslaagde vlucht wordt algemeen verwacht dat de volgende Shenzhou bemand zal zijn met twee of drie Chinese ruimtevaarders. Deze vlucht zou in de tweede helft van 2003 kunnen plaats-

vinden en China, na Rusland en de VS, het derde land maken dat zelfstandig bemande ruimtevluchten kan ondernemen.

## Rosetta blijft achter

Kort na de mislukte Ariane 5 ECA vlucht besloot ESA de lancering van de komeetverkenner Rosetta voor onbepaalde tijd uit te stellen (zie ook het artikel in deze ruimtevaart). Hoewel bij de mislukte lancering een nieuwe versie van de Ariane 5 werd gebruikt terwijl Rosetta met de oudere versie omhoog zal gaan, is er momenteel onvoldoende vertrouwen in de kwaliteit van de Ariane 5 om een lancering te wagen. ESA meldde dat zij niet in staat zullen zijn de basis Ariane 5 voor het einde van de lanceervenster te kwalificeren voor een lancering van Rosetta.

Rosetta, met €650 miljoen een van de duurste ESA projecten ooit, had tussen 12 en 31 januari gelanceerd moeten worden om in 2011 een rendez-vous uit te kunnen voeren met de komeet 46/P Wirtanen. De Rosetta satelliet zelf zou in een baan om de komeet worden geplaatst en een klein landingsvoertuig zou vervolgens naar het komeetoppervlak afdalen. Al sinds het project in 1993 werd goedgekeurd en de komeet Wirtanen als doel geselecteerd werd, was duidelijk dat Rosetta alleen gedurende dit korte lanceervenster zou kunnen vertrekken. Met het missen van de lanceeropening is er geen mogelijkheid meer om Rosetta naar Wirtanen te laten vliegen. De onderlinge positie van aarde, Mars en de komeet die deze reis mogelijk maakte zal zich pas over enkele eeuwen weer voordoen. ESA is nu op zoek naar een nieuwe komeet voor Rosetta en van plan de komeetsonde zo snel mogelijk, waarschijnlijk binnen enkele jaren, alsnog te lanceren.

## Taperecorder Galileo werkt weer

Halverwege december 2002 slaagden de vluchtleiders van het Jet Propulsion Laboratory erin de taperecorder van de Galileo sonde, die zich al sinds 1995 in een baan om Jupiter bevindt, weer aan de praat te krijgen. De bandrecorder was begin november uitgevallen toen de sonde de planeet dichter dan



Kunstmatige afbeelding van Jupiter, Almathea en het ruimtevaartuig Galileo. [NASA-JPL, M. Carroll]

ooit tevoren, naderde om voor het eerst het maantje Almathea op een afstand van 160 kilometer voorbij te kunnen vliegen. De sonde drong daarbij dieper dan ooit tevoren in de straling gordels die Jupiter omringen door. Blijkbaar was dat teveel van het goede, want kort daarna zette de boordcomputer van de sonde zich in een veilige modus. Helemaal onverwacht kwam dat niet: Galileo heeft namelijk al meer dan vier keer de hoeveelheid straling te verwerken gekregen als waarvoor zij oorspronkelijk ontworpen was.

Op 13 november werden commando's naar de sonde gestuurd en kwam de computer weer in normale modus terug. Helaas bleek toen de dat de bandrecorder niet terug wilde spoelen om te beginnen met het uitzenden van de observatiegegevens van Almathea. Na een maand konden vluchtleiders het probleem traceren naar een enkele LED (Light Emitting Diode) die door de hoge straling in een blijvende gesperde toestand was gekomen. In de motorelektronica van de bandrecorder zijn namelijk drie van deze LED's aanwezig die licht door openingen in een spoel sturen, dat aan de andere zijde geregistreerd wordt door lichtgevoelige sensoren. Door het

aantal pulsen te tellen, kan de positie van de band op de spoel vastgesteld worden. Door de straling waren atomen in de kristalstructuur van het semi-conductor materiaal waaruit de LED is opgebouwd, blijvend van plaats veranderd, waardoor de LED geen licht meer uitzond. Door gedurende enkele uren een hoge stroom door de LED te laten lopen, konden genoeg atomen terug op hun oorspronkelijke posities in de kristalstructuur worden gebracht. Na ongeveer 83 uur van deze behandelingen kon de bandrecorder voor ongeveer een uur gebruikt worden. Omdat het uitzenden van de gegevens maar enkele minuten duurt, is deze verbetering voldoende om eind januari 2003 alle gegevens binnen te hebben.

Galileo is nu aan zijn laatste omloop om Jupiter begonnen. Op 21 september 2003 zal de sonde zijn vurig einde vinden in de dampkring van de reuzenplaneet. Hiermee hopen wetenschappers te voorkomen dat Galileo in de toekomst een mogelijke biosfeer op de maan Europa kan verontreinigen.

Bronnen: NASA, ESA, Space.com, Space Daily, Space News

# LANCEEROVERZICHT

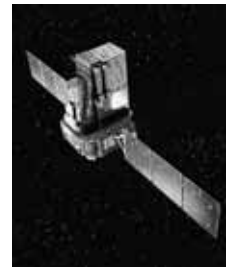
Henk H.F. Smid  
ribs Space Consultancy & Insurance

2002-####	Foton M-1	15 oktober 2002   18:20 UT	Plesetsk SLC	SL-04 Soyuz U
-----------	-----------	----------------------------	--------------	---------------

De eerste lancering van een verbeterde versie van de **Foton** materiaalverwerkingsatelliet voor microzwaartekrachtonderzoek. Foton satellieten worden gebouwd door TsSKB Progress. Deze Foton had experimenten aan boord voor Amerika, Canada, Japan en de ESA. Na de lancering zou "vreemd materiaal in de stuwstofleiding van een van de aanjaagraketten" er de oorzaak van zijn geweest dat de motor van deze raket niet (meer) werkte en de lancering mislukte. Het lanceervoertuig viel hierna terug op de lanceerplaats.

2002-048A	Integral	17 oktober 2002   04:41 UT	Baikonur SLC	SL-12 Proton K
-----------	----------	----------------------------	--------------	----------------

**Integral** - *International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory* is een wetenschappelijke satelliet die voor de ESA is gelanceerd. Het ruimtevaartuig is gemaakt door Alenia Spazio en is gebaseerd op hetzelfde ontwerp als **XMM/Newton** (1999-066A). Het voertuig heeft instrumentarium met een massa van 2414 kg. Onder de instrumenten bevinden zich de **IBIS**, **SPI** en **JEM-X** (coded-mask telescopen) en de **OMC** (Optical Monitor Camera). Integral kijkt naar harde Röntgen en zachte gamma stralen. Eerdere missies die hetzelfde gebied bestreken zijn **SIGMA/Granat**, **COMPTON** en **BEPPOSAX**. De geplande operationele levensduur is 2,2 jaren, maar het is mogelijk om dit t.z.t. tot 5,2 jaren te verlengen. De initiële baanparameters waren  $H = 535^*150\ 558\text{ km}$  |  $i = 51,7^\circ$ .



2002-049A	Zi Yuan 2-2	27 oktober 2002   03:17 UT	Taiyuan SLC	CZ 4B
-----------	-------------	----------------------------	-------------	-------

Tweede vlucht van de Chinese **Jian Bing 3** (Vooruitgang) elektro-optische (mogelijk militaire) fotoverkenningssatelliet. Aangenomen wordt dat deze satelliet hetzelfde platform gebruikt als de **Zi Yuan 1**, beter bekend onder de naam **CBERS** - *Chinese Brazil Earth Resources Satellite* (1999-057A). De initiële baanparameters waren  $H = 471^*483\text{ km}$  |  $i = 97,4^\circ$  hetgeen lager en meer excentrisch is dan **Zi Yuan 2-1** (2000-050A). De verwachte operationele levensduur is twee tot drie jaren.

2002-050A	Soyuz TMA-1	30 oktober 2002   03:11 UT	Baikonur SLC	SL-04 Soyuz FG
-----------	-------------	----------------------------	--------------	----------------

**ISS-5S** taxi missie naar het internationale ruimtestation ISS met drie kosmonauten. De bemanning bestond uit S Zalyotin (commandant), Y Lonchakov en de Belgische/ESA kosmonaut Frank de Winne. **Soyuz TMA** is een nieuwe versie van de Soyuz TM ruimtevaartuigen en kan grotere/langere kosmonauten vervoeren. Ook heeft het de beschikking over gemoderniseerde systemen. Het ruimtevaartuig koppelde aan **ISS/Pirs** op 1 november 2002 en zal daar zes tot zeven maanden blijven als bemanning reddingvoertuig. De initiële baanparameters waren  $H = 196^*240\text{ km}$  |  $i = 51,62^\circ$ . De bemanning keerde op 10 november 2002 terug in Soyuz TM-34.

Het was voor het eerst dat een SL-04 van het type **Soyuz FG** werd gebruikt om een bemand ruimtevaartuig te lanceren. Klaarblijkelijk is dit type lanceervoertuig hiervoor nu geschikt bevonden.

2002-051A	W5	20 november 2002   22:39 UT	Cape Canaveral AFS	Delta 4
-----------	----	-----------------------------	--------------------	---------



Telecommunicatiesatelliet voor **Eutelsat** door Alcatel waarbij gebruik is gemaakt van hun Spacebus 3000B2 platform. De W5 heeft 24 Ku-band transponders aan boord en verzorgt telefoon, video en internetdiensten voor landen in West-Europa, Centraal-Azië en het Indiase subcontinent vanaf positie  $70,5^\circ$  oost. De initiële baanparameters waren  $H = 18\ 424^*35\ 781\text{ km}$  |  $i = 2,8^\circ$ .

Deze lancering was de eerste **Boeing Delta 4** variant.

2002-052A	Endeavour (OV-105)	24 november 2002   00:50 UT	Kennedy SLC	STS-113
-----------	--------------------	-----------------------------	-------------	---------

**ISS 11A** ruimteveermisssie naar het internationale ruimtestation ISS met zeven astronauten. De bemanning bestond uit J Wetherbee, P Lockhart, M Lopez-Alegria en J Herrington. Voornaamste missie was het naar het ISS brengen van **Expedition Crew 6** bestaande uit K Bowersox, N Budarin en D Pettit en het mee naar de aarde terugnemen van de **Expedition Crew 5**, bestaande uit V. Korzun, S Treschev en P Whitson, die in totaal 185 dagen in de ruimte verbleef. Aan boord was eveneens de de 12,5 ton wegende P1 balk voor verdere uitbreiding van het station. Deze taak en de installatie werd tijdens drie ruimtewandelingen geklaard. De totale massa van ISS kwam hiermee op ongeveer 200 ton. De initiële baanparameters waren  $H = 379^*397 \text{ km} \mid i = 51,6^\circ$ . Op 25 november 2002 koppelde het ruimteveer aan ISS. Het ruimteveer had bij de landing een vertraging van drie dagen vanwege de slechte weeromstandigheden boven het Kennedy SLC.

2002-053A	Astra 1K	25 november 2002   23:04 UT	Baikonur SLC	SL-12 Proton K
-----------	----------	-----------------------------	--------------	----------------

Telecommunicatiesatelliet voor **SES/Luxemburg** door Alcatel (Spacebus 3000B3S platform) werd gelanceerd met een Proton K onder verantwoordelijkheid van International Launch Services. De **Blok DM3** kon niet opnieuw worden afgevuurd en de satelliet strandde in de parkeeromloop met initiële baanparameters  $H = 156^*171 \text{ km} \mid i = 51,6^\circ$ . **Astra 1K** heeft sindsdien een aantal baanverhogende manoeuvres uitgevoerd om te voorkomen dat de satelliet naar de aarde terugvalt. De satelliet heeft 52 Ku-band en 2 Ka-band transponders (1100 kanalen). Astra 1K had Astra 1B moeten vervangen en meer capaciteit moeten creëren voor Oost-Europa.

2002-054A	ALSAT 1	28 november 2002   06:07 UT	Plesetsk SLC	SL-o8 Cosmos 3M
2002-054B	Mazhaets			
2002-054C	Rubin 3 DSI			



**ALSAT 1** is een kleine (90 kg) aardobservatie satelliet, gebouwd door Surrey Satellite voor **CNTS** - Centre National des Techniques Spatiales in Algerije. Het is de eerste satelliet in een internationale rampen monitor constellatie (DMS) die hulp biedt met foto's uit de ruimte voor hulporganisaties bij rampen. De satelliet heeft een 32 meter resolutie beeldvormer en **GPS** aan boord. De initiële baanparameters waren  $H_c = 700 \text{ km} \mid 98,0^\circ$ .

**Mozhaets** (64 kg) is een opvolger van de Russische **Zeya** en **Radio ROSTO** satellieten en is gebouwd door NPO Prikladnoi Mekhaniki met een lading die is ontworpen door studenten van de Mozhaisky Militaire Academie van Sint Petersburg. De voornaamste lading bestaat uit een **GLONASS/GPS** ontvanger, een deeltjes detector en een amateur radio transponder. De initiële baanparameters waren  $H_c = 700 \text{ km} \mid 98,0^\circ$ .

**Rubin 3 DSI** is een 45 kg wegende, door PO Polyot (Omsk) en OHB Systems (Bremen) gebouwd apparaat. Het meet de omgevingsvariabelen en prestaties van het lanceersysteem. Dit systeem, de **Cosmos 3M** draagraket, wordt ook door PO Polyot gebouwd. De initiële baanparameters van de Cosmos 3M waren  $H = 688^*745 \text{ km} \mid i = 98,2^\circ$ . [<http://www.cosmoworld.ru/spaceencyclopedia/hotnews>].

2002-055A	TDRS 10	5 december 2002   02:42 UT	Cape Canaveral AFS	Atlas 2A
-----------	---------	----------------------------	--------------------	----------

**TDRS 10** is een Amerikaanse (NASA) geostationaire *Tracking and Data Relay Satellite* die - tezamen met nog zes andere van deze satellieten die zich al in de ruimte bevinden - voornamelijk de (data) verbindingen vormt voor de wetenschappelijke satellieten van NASA. De drie-assig gestabiliseerde satelliet weegt ongeveer 3190 kg, is een verbeterde versie en heeft Ka-, Ku- en S-band transponders aan boord. De initiële baanparameters waren  $H = 35\ 764^*35\ 805 \text{ km} \mid i = 6,9^\circ$ .

2002-####	Hot Bird 7	11 december 2002   22:22 UT	Kourou SLC	Ariane 5/ESC-A
2002-####	Stentor			

Eerste vlucht van de Ariane 5 met de nieuwe **ECS-A** cryogene tweede trap. 178 seconden na de lancering trad er een fout op in de motor van de eerste trap, waarop geen controle meer mogelijk was. De raket werd door een lanceerveiligheids officier tot ontploffing gebracht.

**Hot Bird 7** was een 3300 kg wegende geostationaire telecommunicatiesatelliet voor EUTELSAT en gebouwd door Astrium (Eurostar 2000+ platform) en was bestemd voor de  $13^\circ$  oost positie. De satelliet ging bij de lancering verloren.

**Stentor** – *Satellite de Télécommunications pour Expérimenter de Nouvelles Technologies en Orbite* was een 2210 kg wegende experimentele communicatiesatelliet voor CNES en gebouwd door Alcatel Space en Astrium en was bestemd voor de 349° oost positie. De satelliet ging bij de lancering verloren.

2002-056A	ADEOS 2	14 december 2002   01:31 UT	Tanegashima SLC	H 2
2002-056B	Fedsat			
2002-056C	WEOS			
2002-056D	Micro-Labsat			



**ADEOS 2** of **Midori 2** is een Japanse (NASDA) aardobservatie satelliet. Het ongeveer 3700 kg wegende ruimtevaartuig heeft één zonnepaneel en heeft instrumenten voor het meten van wereldomvattende klimaatveranderingen. De initiële baanparameters waren  $H = 606 \cdot 807 \text{ km}$  |  $i = 98,7^\circ$ . De volgende instrumenten zijn aan boord: **AMSR** - *Advanced Microwave Scanning Radiometer* (voornamelijk voor het meten van waterdamp); **GLI** - *Global Imager* (optische sensor voor het meten van zonnestraling); **SeaWinds** (verstrooiingsmeter voor het meten van windsnelheid en -richting); **POLDER** - *Polarisation and Directionality of Earth' Reflectance* (meet de reflecties van zonnelicht door aërosols, wolken, oceanen en landoppervlakten); **ILAS-2** - *Improved Limb Atmospheric Spectrometer* (voor het verticaal meten van een scala aan chemische stoffen, alsmede de distributie van temperatuur en druk in de stratosfeer)

**Fedsat** is een Australische microsatteliet (50 kg) met aan boord communicatie-, navigatie- en computersystemen, en een zeer gevoelige magnetometer. De initiële baanparameters waren  $H = 793 \cdot 806 \text{ km}$  |  $98,7^\circ$ .

**WEOS** - *Whale Ecology Observation Satellite* is een ongeveer 50 kg wegende Japanse microsatteliet voor het observeren van migraties van walvissen die van een zender met sensoren zijn voorzien. Data over water druk, temperatuur, geomagnetisme en akoestische condities wordt door de zender verzonden en door de satelliet opgepikt en naar de thuisbasis gerelayeerd. Het is d.z.z. niet bekend of de data ook wordt gebruikt om walvissen te kunnen lokaliseren en er op te jagen. De initiële baanparameters waren  $H = 791 \cdot 805 \text{ km}$  |  $98,7^\circ$ .

**Micro-Labsat** is een ongeveer 70 kg wegende Japanse microsatteliet voor technologie experimenten. De initiële baanparameters waren  $H = 789 \cdot 805 \text{ km}$  |  $98,7^\circ$ .

2002-057A	NSS 6	20 december 2002   23:04 UT	Kourou SLC	Ariane 4
-----------	-------	-----------------------------	------------	----------

**NSS 6** is een Nederlandse (New Skies Satellites NV) geostationaire communicatiesatelliet gebouwd door Lockheed Martin (A-2100AX platform). Het 4575 kg wegende ruimtevaartuig heeft 50 Ku-band en 10 Ka-band transponders aan boord voor het verzorgen van digitale verbindingen voor India, Zuidoost Azië en Australië vanaf 95° oost op de geostationaire omloopbaan. Geplande operationele levensduur is 14 jaren. De initiële baanparameters waren  $H = 35 \ 779 \cdot 35 \ 793 \text{ km}$  |  $i = 0,0^\circ$ .

2002-058A	Rubin 2	20 december 2002   17:00 UT	Baikonur SLC	Dnepr
2002-058B	Latinsat B			
2002-058C	Saudisat 1C			
2002-058D	Unisat 2			
2002-058E	Trailblazer			
2002-058H	Latinsat A			

**Rubin 2** is een Duitse test microsatteliet die zonder een specifiek grondstation kan werken. Het ruimtevaartuigje kan bestuurd worden via een PC en Internet, door gebruik te maken van het *Orbcomm mobile messaging satellite network*. De initiële baanparameters waren  $H = 635 \cdot 679 \text{ km}$  |  $64,6^\circ$ .

**Latinsat A & B** zijn twee Argentijnse picosatellieten (12 kg) die zowel mobiele als stationaire goederen voor de transportindustrie zullen volgen. De initiële baanparameters voor beide satellietjes waren  $H = 632 \cdot 702 \text{ km}$  |  $64,6^\circ$ .



**Saudisat 1C** is een Saudi Arabische picosatelliet waarvan geen gegevens zijn verstrekt. De initiële baanparameters waren  $H = 633*690 \text{ km} \mid 64,6^\circ$ .

**Unisat 2** is een Italiaanse picosatelliet (12 kg) met een camera en sensoren voor het ontdekken van aerosols en brokstukken. De initiële baanparameters waren  $H = 636*667 \text{ km} \mid 64,6^\circ$ .

**Trailblazer** is een 100 kg zwaar proefmodel van een Amerikaans commercieel maan omloopvoertuig voor het testen van de levensvatbaarheid van het voertuig. Als deze testen met succes verlopen zullen er gedurende 2003-2005 van dit soort voertuigen (commercieel) naar de maan worden gelanceerd met bijvoorbeeld persoonlijke bezittingen of as van gecremeerden. De initiële baanparameters waren  $H = 639*645 \text{ km} \mid 64,6^\circ$ .

**Dnepr** is een geconverteerde SS-18 intercontinentale ballistische raket.

2002-059A	Kosmos-2393	24 december 2002   12:20 UT	Plesetsk SLC	SL-06 Molniya M
-----------	-------------	-----------------------------	--------------	-----------------

Kosmos-2393 is een Russische satelliet (**Oko**) voor vroege waarschuwing van lanceringen van ballistische raketten.. De initiële baanparameters waren  $H = 517*39 \text{ km} \mid 62,8^\circ$ .

2002-060A	Kosmos-2394	25 december 2002   07:38 UT	Baikonur SLC	SL-12 Proton K
2002-060B	Kosmos-2395			
2002-060C	Kosmos-2396			

Deze drie Kosmos satellieten zijn Russische navigatiesatellieten (**Uragan**) voor het GLONASS systeem en brengen het huidige aantal op 12 werkende satellieten, de helft van wat voor een volledig operationeel systeem is benodigd. Rusland wil eind 2005 dit navigatiesysteem weer operationeel hebben. De initiële baanparameters waren  $H = 19 \text{ km} \mid 64,8^\circ$ .



2002-061A	Shenzhou 4	29 december 2002   16:40 UT	Jiuquan SLC	CZ 2F
-----------	------------	-----------------------------	-------------	-------

**Shenzhou 4** is een ruimtevaartuig van de Volksrepubliek China voor het uittesten van componenten voor bemande ruimtevaart. Het heeft een bemanningscompartiment dat naar de aarde teruggesleurd kan worden, met test apparatuur en dummy astronauten om de levensvatbaarheid van het voertuig te bepalen. Het voertuig lijkt sprekend op het Russische Soyuz ruimtevaartuig voor bemande vluchten en heeft dus ook nog een dienstencompartiment en een compartiment dat achterblijft nadat het bemanningscompartiment is afgestoten. De initiële baanparameters waren  $H = 196*329 \text{ km} \mid 89,8^\circ$ .

2002-062A	Nimiq 2	29 december 2002   23:17 UT	Baikonur SLC	SL-12 Proton M
-----------	---------	-----------------------------	--------------	----------------



**Nimiq 2** is een Canadese geostationaire communicatiesatelliet voor Telesat. Dit ongeveer 3600 kg wegende ruimtevaartuig is gebouwd door Lockheed Martin (A-2100AX platform) en zal zorgen voor radio, digitale en interactieve televisie, en internetdiensten voor abonnees in heel Noord-Amerika vanaf een positie op  $91^\circ$  west. Er zijn 32 Ku-band transponders aan boord en de verwachte levensduur is 12 jaren. De initiële baanparameters waren  $H = 35 \text{ km} \mid i = 0,1^\circ$ .