D. de Hoop
Nederlands Instituut voor Vliegtuigontwikkeling en Ruimtevaart Delft

VAN SPACELAB NAAR RUIMTESTATION

Ruimtevaart speelt een steeds grotere rol in onze samenleving. Dagelijks gebruiken we de opbrengsten van weer- en telecommunicatiesatellieten. Onderzoek in de ruimte wordt steeds meer afhankelijk van de mens. In het Europese ruimtelaboratorium Spacelab zijn reeds goede proeven verricht door astronauten. Met de komst van de bemande ruimtestations worden de mogelijkheden van ruimteonderzoek aanzienlijk vergroot. De verschillende ruimtestationelementen zullen worden gebruikt voor onderzoek en toepassingen op de gebieden van fysica, biowetenschappen, astronomie, technologie en aardobservatie.

Een van de spectaculairste operaties die de afgelopen jaren in de ruimte is uitgevoerd, was de berging van de onklaar geraakte satelliet Solar Max. Tijdens die berging werd in feite al geoefend met technologieën die voor de opbouw van toekomstige ruimtestations van belang zijn.

In de jaren zeventig – na de beëindiging van het Apolloprogramma – is onderzoek gedaan naar nieuwe bemande ruimtesystemen. Het ging erom een meer doeltreffend transportmiddel dan de wegwerpraketten te ontwikkelen en ook moesten systemen in de ruimte worden gebracht die meer keren konden worden gebruikt. In 1972 begon men met de bouw van het huidige Space Shuttle systeem, waarvan de Orbiter – het vliegtuigachtige ruimtevaartuig – en de boosterraketten diverse malen kunnen worden gebruikt. Europa wilde oorspronkelijk delen van deze Shuttle ontwikkelen, maar uiteindelijk bouwde een Europees consortium het ruimtelaboratorium Spacelab, dat in het laadruim van de Orbiter zijn missie volbrengt.

De Europese industrie begon in 1973 met de ontwikkeling van Spacelab. Het bijzondere van Spacelab is dat de onderdelen en instrumenten voor onderzoek vele keren kunnen worden gebruikt. Ook kan elke vlucht anders worden samengesteld. De bemande Spacelabmodule wordt vooral gebruikt voor onderzoek op het gebied van materiaalkunde en biowetenschappen, terwijl op de onbemande Spacelab-platforms primair instrumenten worden aangebracht voor experimenten op het terrein van astronomie, aardobservatie en atmosfeerfysica. Nadeel van Spacelab is dat het na een vlucht van circa tien dagen weer met de Shuttle terugkeert naar de Aarde.

Met de komst van de ruimtestations wordt dit euvel verholpen. In de jaren negentig is het internationale ruimtestation klaar en kunnen van Spacelab afgeleide bemande modules en onbemande platforms aan het ruimtestation worden gekoppeld. Dan kunnen astronauten continu de instrumenten in de verschillende laboratoria bedienen. Europa zal diverse ruimtestationelementen bouwen in het kader van het Columbus ruimtestationprogramma. Nederland en België doen hieraan mee.

De eerste vier Spacelabvluchten

De eerste Spacelabconfiguratie bestond uit een module met instrumenten voor materiaalonderzoek en biomedische proeven én een pallet waarop faciliteiten stonden voor experimenten op het gebied van astronomie, atmosfeeronderzoek en aardobservatie. Tijdens de vlucht, van 28 november tot 8 december 1983, werd een zeventigtal experimenten uitgevoerd. De tweede vlucht, begin 1985, met een grote bemande module, was vooral gewijd aan microzwaartekrachtonderzoek en werd in Nederland bekend omdat de aldaar geboren astronaut Lodewijk van den Berg experimenten uitvoerde met grote kristallen. Op de derde vlucht gingen uitsluitend pallets met instrumenten met name voor onderzoek op het gebied van astronomie en atmosfeerfysica mee.

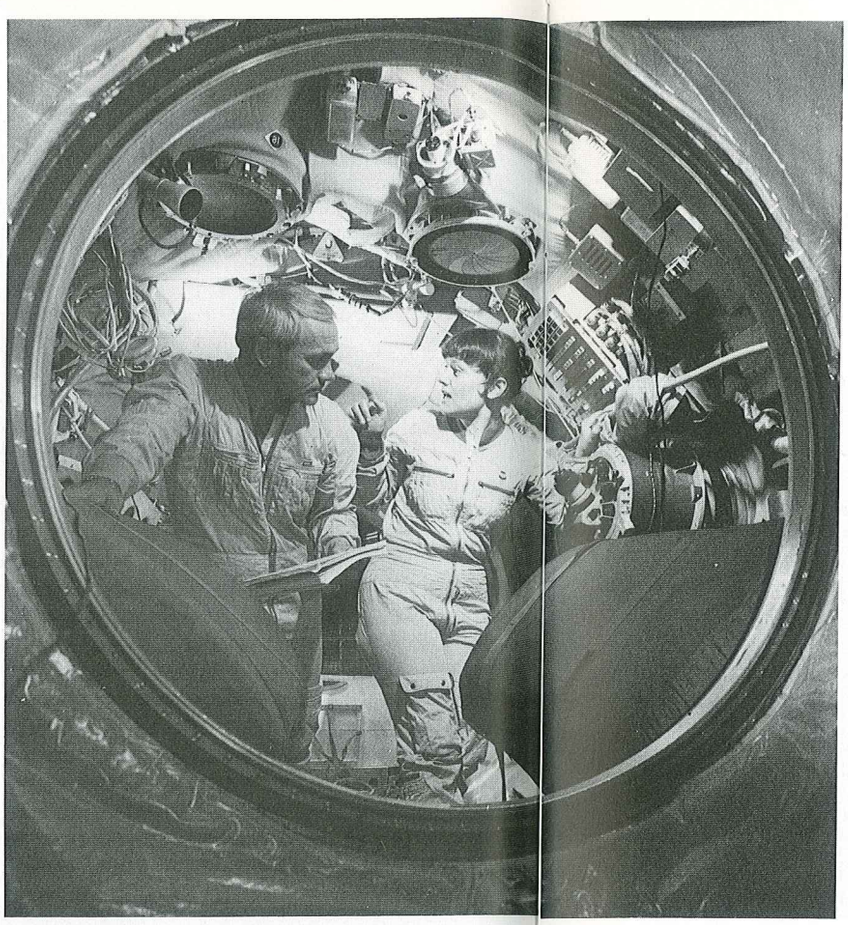
Op 30 oktober 1985 werd Spacelab voor de vierde keer door de Space Shuttle in de ruimte gebracht voor een missie van zeven dagen. Nagenoeg alle tachtig experimenten werden tot volle tevredenheid van de wetenschappers uitgevoerd. Men was in het bijzonder ingenomen met de verrichtingen van de Nederlander dr. Wubbo Ockels, die, als wetenschapsastronaut in dienst van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA, zijn eerste vlucht maakte. Deze vlucht, uitgevoerd met een achtkoppige bemanning, werd voor het grootste gedeelte betaald door West-Duitsland (vandaar de naam D-1 missie). Behalve Ockels waren er twee Duitse astronauten aan boord. ESA bracht ongeveer 35 procent van de nuttige lading in.

De grote ESA-instrumenten waren de vloeistoffysicamodule, het biorack en de ruimteslee voor onderzoek naar ruimteziekte. Drie van de negen Nederlandse experimenten werden met deze instrumenten uitgevoerd. Eén metaalproef (het stollen van gietijzer) werd in een Duitse oven gedaan. De andere Nederlandse experimenten hadden betrekking op de astronauten zelf. Zo werd de relatie tussen spraak en gebaren in de ruimte bestudeerd. De astronaut kreeg enige instructies, die op video werden opgenomen. Twee Nederlandse experimenten gingen over het gedrag van vloeistoffen in de ruimte.

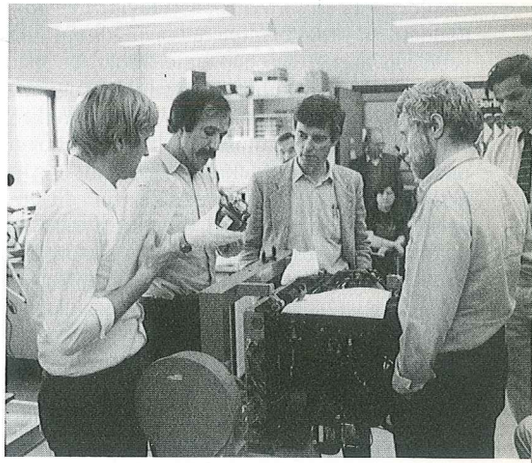
In het biorack werd een biologisch experiment uitgevoerd met kikkereieren. Het doel was te onderzoeken hoe in de ruimte onder gewichtsloze omstandigheden uit het éénassige ei van een klauwpad een drie-assig embryo ontstaat. De bevruchting lukte echter niet. Mogelijk wordt in 1989 deze proef overgedaan in een internationale Spacelabvlucht.

Ook Belgische instellingen namen deel aan de verschillende Spacelabvluchten. Tijdens de eerste Spacelabmissie werden experimenten uitgevoerd op het gebied van atmosfeerfysica in de Grille-spectrometer door medewerkers van het Instituut voor Aeronomie. In de vloeistoffysica-module werd tijdens de D-1 Spacelabvlucht een experiment van Prof. Legros uit Brussel uitgevoerd. Verder zijn onder meer tijdens raketvluchten experimenten aan de groei van kristallen verricht door verschillende Belgische wetenschappers van onder meer de universiteiten van Leuven (proeven met metalen), Brussel (vloeistofexperimenten) en Antwerpen (kristallisatie van materialen).

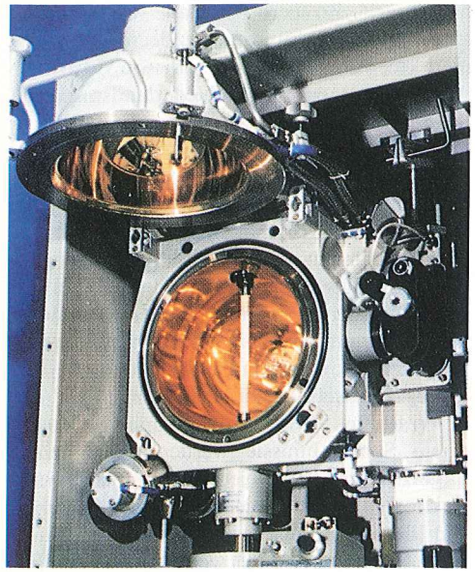
Momenteel is een vijftal Spacelabvluchten gepland tot 1990. De lanceerdata zijn echter nog niet bekend, daar eerst de problemen met de Space Shuttle moeten worden opgelost.



Links: Kosmonauten Svjetlana Savitskaja en Wladimir Dzjanibjekov in het luik dat de capsule Sojoez T-12 met het 'ruimtehuis' Saljoet-7 verbindt. Ook de Sovjet-Unie toont grote belangstelling voor systemen die een langer verblijf in de ruimte mogelijk maken.



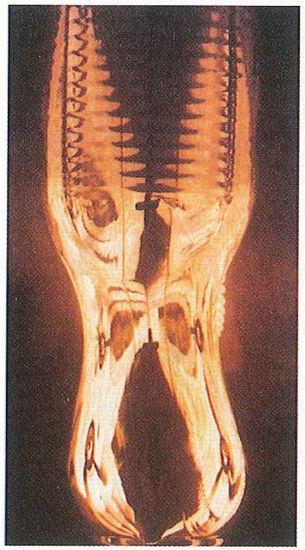
Rechtsonder: Aan de wetenschappelijke experimenten aan boord van Spacelab gaat een langdurige voorbereiding op de grond vooraf. De astronauten die later met de D-1 Spacelabvlucht zouden meegaan, nemen aan de Groningse Universiteit één van de experimenten door.

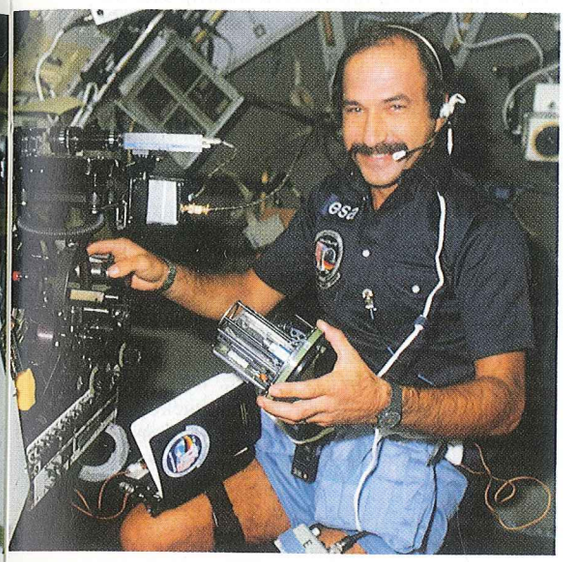


Links: Bij het onderzoek naar de eigenschappen van materialen onder gewichtloosheid is onder andere gebruik gemaakt van deze oven. Daarin werd onderzocht hoe bij verschillende materialen smeltprocessen verlopen bij verminderde zwaartekracht.

Onder: In de links afgebeelde oven is ook geprobeerd éénkristallen te maken van stoffen die als halfgeleiders toegepast worden in de micro-electronica.

Rechtsonder: ESA-astronaut Wubbo Ockels aan de slag met het Groningse vloeistofexperiment. Doel daarvan is te onderzoeken wat de invloed van de zwaartekracht is op eigenschappen als oppervlaktespanning en diffusie.





NASA verwacht pas in 1988 de Shuttle lanceringen te hervatten. Eerst moet het nieuwe ontwerp van de boosterraketten worden gebouwd, zodat de fatale lekkage niet meer voorkomt. Daarnaast zullen ook diverse andere wijzigingen worden aangebracht. Ondanks deze grote tegenslag zal de V.S. doorgaan met het Space Shuttleprogramma, dat tot het ongeval zo succesvol was.

Onderzoek in Spacelab

Tijdens de eerste vier Spacelabvluchten zijn honderden experimenten uitgevoerd op vele gebieden van wetenschap en technologie. Spacelab biedt vooral unieke mogelijkheden voor onderzoek op de gebieden die gebruik maken van de gewichtsloze omstandigheden, de zogenaamde microzwaartekracht-disciplines. Op het terrein van materiaalkunde betreft dit onderzoek naar kristalgroei, vloeistoffysica en metallurgie. Hierbij kunnen in ovens bijzondere metalen worden gemaakt, zoals op Aarde niet-mengbare legeringen. Ook kunnen nieuwe materialen worden gemaakt met hierin zeer homogeen verdeelde andere stoffen of zelfs materialen met luchtbellen. Tijdens de vierde Spacelab vlucht zijn diverse proeven met composiet- en halfgeleidermaterialen verricht. Daarnaast zijn in verschillende Spacelab- en raketvluchten experimenten uitgevoerd aan de stolling van gietijzer en het aanbrengen van een dunne laag aluminiumoxide op de proefstaafjes. Deze Nederlands-Duitse proeven hebben tot doel te onderzoeken of op deze wijze sterkere materialen kunnen worden verkregen, die ondermeer bij turbineschoepen kunnen worden toegepast. Bij de vloeistofproeven wordt gebruik gemaakt van het ontbreken van het soortelijk gewicht en de hiermee gepaard gaande bewegingen in de vloeistof, zodat de verschijnselen die te maken hebben met oppervlaktespanning of diffusie goed kunnen worden bestudeerd. Nederlandse instellingen hebben experimenten verricht (en gepland) over vloeistofbewegingen en verschijnselen bij het kritische punt van een vloeistof. Dit onderzoek kan ook van belang zijn voor aardse toepassingen in ondermeer de petrochemische industrie (destillatie en dergelijke processen). Verder zijn in Spacelab met succes grote eiwitten geproduceerd. Deze proeven zijn van belang voor het verkrijgen van een beter inzicht in de vorming van eiwitten. Zo konden bijvoorbeeld eiwitten die in bloedstolsels voorkomen beter worden bestudeerd.

Een grote faciliteit die op het vrij vliegende onbemande platform Eureca (geplande vlucht in 1988) staat, bevat twee experimenten van de Universiteit van Nijmegen en Gaubius Instituut TNO te Leiden. Hierbij worden oogeiwitten en bloedstolsel-eiwitten gekristalliseerd. Op het gebied van biologie, medische wetenschappen en gedragsleer is reeds veel onderzoek in Spacelab gedaan naar het effect van gewichtsloosheid op biologische systemen, het menselijk gedrag in de ruimte en de groei van planten. Deze biomedische experimenten zijn toegelicht in het artikel van prof. dr. S.L. Bonting in Natuur & Techniek van augustus jongstleden.

Overigens is fundamenteel vooronderzoek hoogst noodzakelijk om de produktieprocessen te bepalen en de juiste materialen te kiezen. Niet alle legeringen en farmaceutische materialen zijn geschikt voor produktie in de ruimte. Dat maakt verdergaande experimenten noodzakelijk. Daarom zijn in Spacelab verschillende experimenten uitgevoerd op het gebied van vloeistoffysica, ter ondersteuning van het materiaalonderzoek. Tenslotte staat het produceren van ruimtematerialen nog in de kinderschoenen.

Ruimtestationprogramma's

De president van de Verenigde Staten heeft begin 1984 besloten een permanent bemand ruimtestation te laten ontwikkelen. Een aantal landen en organisaties zoals ESA, Japan en Canada is gevraagd hieraan deel te nemen. Een dergelijk internationaal ruimtestation bevat vele elementen, zoals bemande laboratoria en woonmodules, grote en kleine onbemande platforms en reparatiewerkplaatsen. ESA koppelt hieraan het eigen bemande Columbus laboratorium, gebaseerd op de Spacelabmodule. Japan is ook van plan een bemande module aan dit station te koppelen. Canada is vooral geïnteresseerd in het leveren van faciliteiten, waarin satellieten kunnen worden gerepareerd en/of van nieuwe instrumenten voorzien. De voorbereidende studies zijn in 1985 aangevangen en zullen mogelijk in 1987 worden beëindigd. In het midden van de jaren negentig moet het ruimtestation operationeel zijn. Het zal dan 500 km boven de Aarde zweven in een baan met een inclinatie (de hoek tussen het baanvlak en het equatorvlak) van 28°.

De meeste ruimtestationelementen worden bevestigd aan grote vakwerkconstructies. In 1984 dacht men nog aan een concept waarbij de modules en dergelijke werden gekoppeld aan één lange mast, de zogenaamde power tower, maar begin 1986 werd al een 'dual keel' configuratie bestudeerd. Bij dit concept hangen de modules en systemen voor de energieverzorging aan een meer dan 100 meter lange dikke balk en loodrecht hierop brengt men twee lange dwarsbalken aan. Deze constructie is stabieler en allerlei instrumenten, antennes, hangars voor opslag van instrumenten en dergelijke, kunnen beter worden opgehangen aan de verschillende balken. Bovendien bevinden de bemande modules zich nu meer in het zwaartepunt van het gehele ruimtestation, zo-

dat de omstandigheden voor micro-zwaartekrachtonderzoek beter zijn.

Momenteel zijn vier modules voorzien: twee van de Verenigde Staten, één uit Europa en één Japanse module. De Amerikaanse modules zijn nu groter dan oorspronkelijk gepland, maar voorlopig is het aantal beperkt, mede vanwege de kosten. De benodigde energie zal mogelijk niet alleen worden geleverd door zonnecellen, maar ook door geheel nieuwe zogenaamde thermisch/dynamische systemen. Daarbij worden stirlingmotoren en dergelijke gebruikt, die de zonnewarmte, die wordt opgevangen met collectoren, omzetten in elektrische energie.

De bemande modules zijn ongeveer vijftien meter lang en vier meter in doorsnede. De Europese landen willen echter ook onderzoeken of een kleinere module van ongeveer zes meter lang gekoppeld kan worden aan het ruimtestation. Een dergelijke kleine module zou ook 'vrij' moeten kunnen vliegen op een afstand van een tiental kilometers van het ruimtestation, waarbij dan eigen zonnepanelen voor de energievoorziening zorgen. De Space Shuttle of het nieuwe Europese ruimteveer Hermes zouden dit vrijvliegende ruimtestationelement kunnen bezoeken om nieuwe instrumenten aan te brengen.

De druk in de bemande module is één atmosfeer en een geavanceerd klimaatbeheersingssysteem zorgt voor normale behaaglijke aardse omstandigheden wat temperatuur en vochtigheid betreft. De astronauten werken dus gewoon in hun dagelijkse pak.

De bemanning zal hoogstens drie maanden in het station verblijven. De voorzieningen zoals voor het slapen, eten en verpozen zullen beter worden dan bij Spacelab vanwege de relatief lange vluchtduur. Er zijn door verschillende Amerikaanse bedrijven reeds zeer fraaie vertrekken ontworpen. Een definitieve selectie moet nog worden gemaakt. Het Europese Columbus ruimtestation zal echter veel lijken op Spacelab.

Vanaf 1987 worden de ruimtestationdelen gemaakt. Alle onderdelen worden in de daarop volgende jaren met de Space Shuttle naar het ruimtestation gebracht. Er zijn 14 vluchten nodig om het gehele ruimtestation te bouwen. Na acht vluchten kunnen de astronauten al in het bemande gedeelte blijven; ze hoeven dus niet direct terug.

Het Europese Columbus ruimtestation

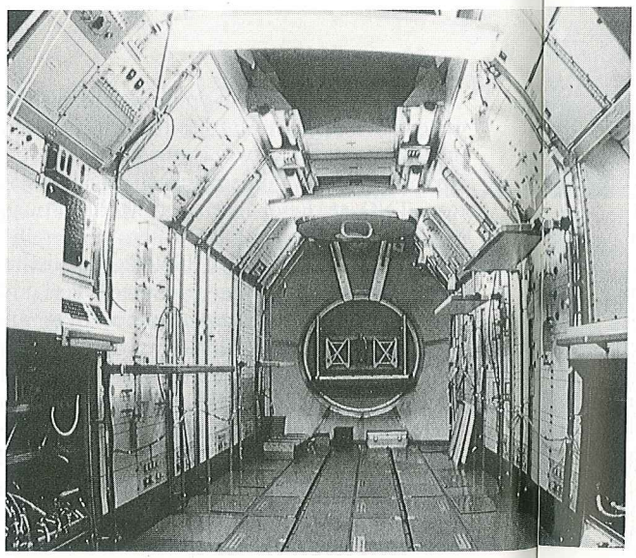
Columbus bestaat eigenlijk uit drie elementen: bemande ruimtestationmodules, onbemande platforms en zogenaamde 'resources modules'. Het is nog onzeker of de module die aan het internationale ruimtestation wordt gekoppeld gelijk is aan de (kleine) module die vrij gaat vliegen. In elk geval moet de vrijvliegende module zo worden ontworpen dat deze ook met de nieuwe Europese Ariane V raket kan worden gelanceerd. Er zullen grote platforms worden ontwikkeld waarop met name instrumenten worden gezet voor het observeren van de Aarde. Deze platforms worden in een baan om de polen gebracht. Ook worden kleinere platforms gemaakt van het type Eureca (een bestaand concept), waarop instrumenten voor bijvoorbeeld astronomisch en materiaalonderzoek worden gezet.

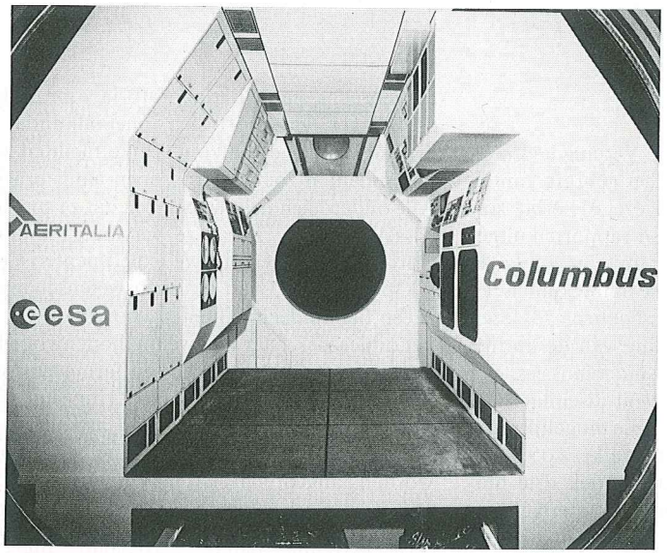
Al deze ruimtestationelementen hebben hetzelfde uitgangspunt: alle instrumenten kunnen worden vervangen of gerepareerd. Alleen de experimenten worden steeds gewijzigd en de platforms en modules blijven in de ruimte. De 'resources module' zal bestaan uit zonnepanelen, koelradiatoren en dergelijke. Dit systeem wordt aan een bemande module gekoppeld en levert de benodigde elektrische energie. Tenslotte wordt in het kader van het Columbus-programma onderzocht welke instrumenten moeten worden ontwikkeld, terwijl ook operationele aspecten – hoe worden de stations bediend – aan de orde komen.

Nederland doet voor vier à vijf procent mee aan de voorbereidende fase van het Columbusprogamma. België draagt vijf procent van de kosten. Fokker is betrokken bij verschillende internationale systeemstudies waarbij onderwerpen worden bestudeerd over zonnepanelen, thermische regelsystemen en robotica. Zo gaat Fokker na of een type zonnepaneel kan worden gemaakt waarbij verschillende kleine zonnepanelen op een lange vernuftig uitvouwbare mast worden aangebracht. Vele instrumenten zullen met robotarmen op verschillende plaatsen worden neergezet. Fokker en het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium zijn betrokken bij studies hierover, waarbij diverse roboticasystemen en grijparmen worden onderzocht. Ook worden door Fokker en het NLR computerprogramma's ontwikkeld waarbij de diverse robothandelingen worden gesimuleerd, zodat een goed inzicht van de problematiek wordt verkregen. Philips zal mogelijk nieuwe compact-discsystemen leveren, die worden gebruikt voor de opslag van de enorme hoeveelheid gegevens aan boord van de ruimtestations. Het onderzoek hiernaar is gestart. Het software bureau BSO is betrokken bij studies over de operaties van de ruimtestations. Hierbij wordt nagegaan welke handelingen en planningen vantevoren op de Aarde moeten worden gedaan en in hoeverre men ter plaatse in het ruimtestation voorbereidende werkzaamheden moet doen. Hiervoor moet veel software worden geschreven.

Belgische bedrijven en instellingen, zoals SABCA (Société Anonyme Belge de Constructions Aéronautiques), ETCA (Etudes Techniques et Constructions Aérospatiales) en BTMC (Bell Telephone Manufacturing Company) zijn momenteel betrokken bij studies over Columbus aangaande de warmtehuishouding van elementen, subsystemen voor de elektrische voeding en elektronische subsystemen.

Tenslotte is een aantal instellingen, zoals Fokker, het NLR en enkele universiteiten, betrokken bij studies over het gebruik van de Columbus elementen voor onderzoek op het gebied van vloeistoffysica, metaalkunde en kristalgroei. Deze instrumenten moeten modulair van opzet zijn, zodat de astronauten als dat nodig is er steeds weer nieuwe onderdelen in kunnen aanbrengen. Ook verschillende Belgische instellingen zoals de Universiteiten van Brussel, Antwerpen en Leuven, het Instituut voor Aeronomie en het Meteorologisch Instituut, hebben belangstelling getoond voor onderzoek in ruimtestations.





Links: Het ontwerp van het toekomstige Europese ruimtestation Columbus is sterk geënt op dat van het reeds bestaande Spacelab. De foto geheel links is gemaakt tijdens de assemblage van Spacelab. Duidelijk zichtbaar is dat de diverse instrumenten in afzonderlinge eenheden zijn ondergebracht. Deze opbouw is ook in het model van de Columbus herkenbaar.

Drie verschillende concepten van toekomstige ruimtestations. Links het Russische ontwerp MIR, waarmee wordt voortgeborduurd op de ervaringen opgedaan met de Sojoez/Saljoet-combinatie. Rechtsboven het nieuwe Amerikaanse dual-keel ontwerp, waarbij alle onderdelen zijn vastgemaakt aan één lange balk met twee dwarsbalken. Rechtsonder is te zien hoe het Europese Columbusstation eruit zal zien.

Het gebruik van ruimtestations

Inmiddels zijn in zowel de Verenigde Staten als Europa scenario's voor het gebruik van de verschillende elementen opgezet. Hierbij zijn niet alleen door NASA en ESA rapporten uitgebracht. Ook nationale commissies zoals de Amerikaanse National Research Council en Brits/Franse werkgroepen hebben adviezen gegeven over de samenstelling van de nuttige lading. ESA heeft enkele modelmissies opgesteld, waarbij van een zestal disciplines instrumenten zijn gedefinieerd die mogelijk in de eerste jaren zullen worden gebruikt. Zo zijn op het gebied van materiaalonderzoek drie modellen opgesteld, waarbij in het materiaalkundelaboratorium vier grote faciliteiten zijn ondergebracht, namelijk laboratoria voor onderzoek over vloeistoffysica, metaalkunde en kristalgroei. In een afzonderlijke faciliteit zijn instrumenten zoals microscopen aangebracht. Alle onderdelen hebben gemeen dat ze snel uitwisselbaar zijn, zodat ze vervangen kunnen worden voor weer nieuwe experimenten.

Op het gebied van de levenswetenschappen is een tiental deelfaciliteiten voorzien, waarbij het onderzoek naar nieuwe methoden voor het produceren van biologische en farmaceutische materialen een belangrijke plaats inneemt. Een grote telescoop voor infrarood astronomisch onderzoek zal mogelijk op een nieuw platform worden aangebracht. Dit instrument wordt zodanig ontworpen dat het gemakkelijk te onderhouden is. Zo moet bijvoorbeeld het bijvullen van koelvloeistof voor de telescoop eenvoudig zijn. Er zijn twee grote platforms voorzien, waarop diverse instrumenten voor aardobservatieonderzoek worden aangebracht, zoals Synthetic Aperture Radars, hoogtemeters, radiometers en wind scatterometers. Nederlandse bedrijven en laboratoria zijn bij bovenvermelde studies betrokken. Specifieke interesse tonen ze ook voor de geplande technologische experimenten omtrent robotica, vloeistofdynamica en het ontvouwen van grote structuren.

De verwachting is dat onderzoekers op de gebieden van fysica en biowetenschappen nu met het ruimtestationprogramma werkelijk een kans zullen krijgen fundamenteel en baanbrekend onderzoek onder microzwaartekracht-omstandigheden te doen. Ook de niet-ruimtevaart industrie zal in de toekomst meer gebruik maken van de ruimtestations, ondermeer voor het fabriceren van geavanceerde en nieuwe materialen en/of produkten. Uiteraard zullen disciplines zoals astronomie, aardobservatie en atmosfeerfysica kunnen profiteren van de ruimtestations, aangezien nu reeds verschillende geplande observatoria zodanig zullen worden aangepast dat ze passen in de ruimtestation-elementen. Het grote voordeel is dat in de observatoria steeds onderdelen kunnen worden vervangen in de ruimte.

Hoe interessant ook de verwachte resultaten kunnen zijn, toch is nog niet goed bekend waarvoor deze stations uiteindelijk zullen worden gebruikt. Eigenlijk bevindt de ruimtevaart zich nog in de kinderschoenen als men een vergelijking maakt met de zoveel rijpere luchtvaart. Enkele decennia geleden kon niemand de geweldige vlucht voorspellen die de luchtvaart zou nemen. Met de ruimtevaart is het niet anders; wat zullen de ruimtestations over enkele decennia opleveren? Nu denkt men aan industriële ruimtevaarttoepassingen rond de eeuwwisseling (onder andere voor geneesmiddelen, bijzondere materialen en halfgeleiders) met omzetten van miljarden dollars per jaar, maar de uiteindelijke revenuen kunnen geheel anders zijn. Het is dan ook duidelijk dat het toekomstperspectief van de ruimtestations een zaak van visie is. Ook Nederland en België zullen hiermee rekening moeten houden.

Literatuur

Bonting, S.L., (1986). *Leven zonder zwaartekracht - Biologisch onderzoek in de ruimte.* Natuur en Techniek, *54*, 8, pag. 630-639.

Bronvermelding illustraties

NASA-foto / Chriet Titulaer Produkties, Houten, pag. 772-773, 781 (boven).
Tass-foto/Piet Smolders, Netersel: pag. 774-775.
ESA, Noordwijk: pag. 775, 776-777, 778, 779, 781 (onder).
DFVLR, Köln: pag. 776.
Andrei Sokolov/Piet Smolders, Netersel: pag. 780.