

Praktisch onderzoek in de Microgravity Science Glovebox

*Ing. M.C.A.M. van der List
Bradford Engineering B.V.*

Al sinds november 2000 wordt het ruimtestation ISS afwisselend door elkaar opeenvolgende bemanningen bewoond. Het was dan ook op zich niet zo bijzonder dat op 5 juni 2002 alweer de vijfde expeditie naar het station werd gelanceerd. Maar wat deze expeditie anders maakte dan de voorgaande, was de missie.

Hadden eerdere bewoners voornamelijk gewerkt aan de assemblage van het steeds groter wordende ruimtecomplex, de nieuwe driekoppige bemanning had een andere opdracht gekregen. Een opdracht die meer in overeenstemming was met de uiteindelijke doelstelling en tot op heden het enige bestaansrecht van het ruimtestation: het verrichten van wetenschappelijk en technologisch onderzoek. Het is dan de uitwerking van de onderzoekresultaten die in tastbare toepassingen op aarde kan resulteren. Dit werd mede mogelijk gemaakt door enkele nieuwe experimenteerfaciliteiten die tijdens voorgaande expedities nog niet beschikbaar waren. Een van die faciliteiten is de grotendeels in Nederland gebouwde Microgravity Science Glovebox.

De Microgravity Science Glovebox (MSG) stelt de astronauten in staat om een breed gamma van materiaal-, verbranding-, stromingsleer- en biotechnologie-experimenten uit te voeren in het microzwaartekrachtmilieu aan boord van het ruimtestation. Het MSG-project is opgestart door ESA en loopt reeds sinds 1994. Dit ESA programma is een onderdeel van het ESA ISS Early Delivery programma. Nederland doet voor circa 45 procent mee aan het MSG-project waarvoor het Brabantse bedrijf Bradford Engineering het hoofdaandeel in de hardware levert, namelijk het grote werkvolume en de videolade. Het door Bradford geleverde videosysteem is ontwikkeld en gebouwd uit fondsen beschikbaar gesteld door het NIVR. De MSG is uiteindelijk aan NASA geleverd ten behoeve van het ISS Destiny laboratorium onder een *barter* overeenkomst om het

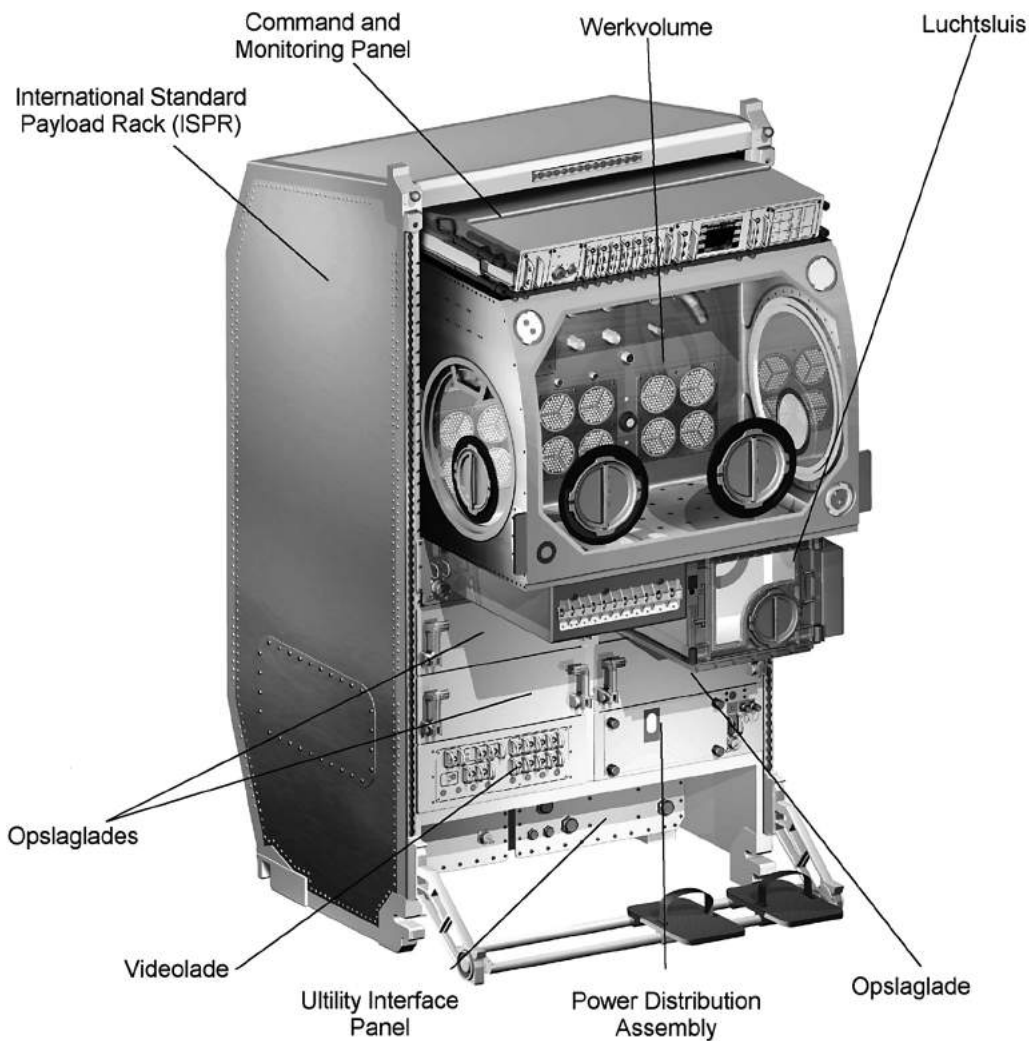
gebruik van het ISS door Europa te financieren en te coördineren.

De hoofdaannemer voor de ontwikkeling en de bouw van het MSG-rek was Astrium Bremen in Duitsland. Waar Bradford verantwoordelijk was voor de ontwikkeling en bouw van de feitelijke glovebox en de videolade, werd de luchtsluis gebouwd door het Belgische Verhaert Design & Development. De applicatiesoftware werd verzorgd door Origin, dat hiermee een tweede Nederlandse inbreng leverde.

Ontwerp en bouw van de MSG

De MSG bestaat uit verschillende onderdelen die tezamen in een *International Standard Payload Rack* (ISPR) zijn geïntegreerd. Het MSG-rek kan onderverdeeld worden in vier hoofdsecties: werkvolume, luchtsluis, videolade en opslaglades.

De MSG is ontworpen voor een levensduur van tenminste tien jaren. Om dit mogelijk te maken zijn levensduurgelimeerde en storinggevoelige onderdelen, zoals filters, ventilatoren, verlichting, elektronica en sensoren uitgevoerd als *On-orbit Replaceable Units* (ORU's). Dit houdt in dat men in staat is om deze specifieke onderdelen van de MSG uit te wisselen, nadat deze al in het ruimtelaboratorium geïnstalleerd is. Elke hoofdsectie van de MSG is opgebouwd uit een draagstructuur waaraan weer alle ORU's bevestigd zijn. Door dit modulaire ontwerp is men in staat snel problemen te lokaliseren en onderdelen uit te wisselen.



Isometrisch aanzicht van het MSG-rek met daarin de verschillende hoofdsecties. [ESA afbeelding, vertaald door Bradford Engineering B.V.]

Het werkvolume

De MSG bevat een lekvrij gesloten werkvolume waarin verlichting, temperatuurregeling, elektrische en data verbindingen, en stikstof, vacuüm en afzuigleidingen zijn ondergebracht ten behoeve van experimenten. Het werkvolume is toegankelijk door vier in de wanden geplaatste handschoenen, die het experiment in het werkvolume isoleren van de cabineomgeving.

Samen met de luchtbehandelingseenheid (*Air Handling Unit*) vormt het werkvolume de zogenaamde *core facility* van het MSG-rek. Vanuit het gezichtspunt van de astronaut is boven op het werkvolume het *Command and Monitoring Panel* (CMP) geplaatst, welke de gebruikersinterfaces en statusindicaties voor alle functies van de *core facility* bevat. Naast het CMP kunnen commando's ook gegeven worden via een externe laptop of via telemetrie vanaf de grond. Alle regel- en sensorelektronica is in een aparte doos, de

E-Box, geplaatst in de vrije ruimte achter de *core facility* in het MSG-rek. Deze E-Box is door middel van kabels verbonden met het CMP. Onder het werkvolume is een luchtsluis geplaatst, welke het mogelijk maakt om met behoud van onderdruk materialen in en uit het werkvolume te transporteren.

In het werkvolume is verlichting (regelbaar tot 1500 lux) geplaatst voor laboratoriumdoeleinden, het maken van video-opnamen en inspectie van de binnenwanden op mogelijke verontreinigingen. Het werkvolume heeft een inhoud van 255 liter en heeft een groot, licht gebogen voorraam om zodoende een goed zicht op de experimenten te kunnen geven. Ook de linker- en rechterzijkant zijn grotendeels transparant uitgevoerd. Het materiaal van de vensters is lexan, daar gewoon glas te breekbaar zou zijn om de trillingen van de lancering te doorstaan. De *core facility* kan in en uit het MSG-rek geschoven worden om de ergonomische

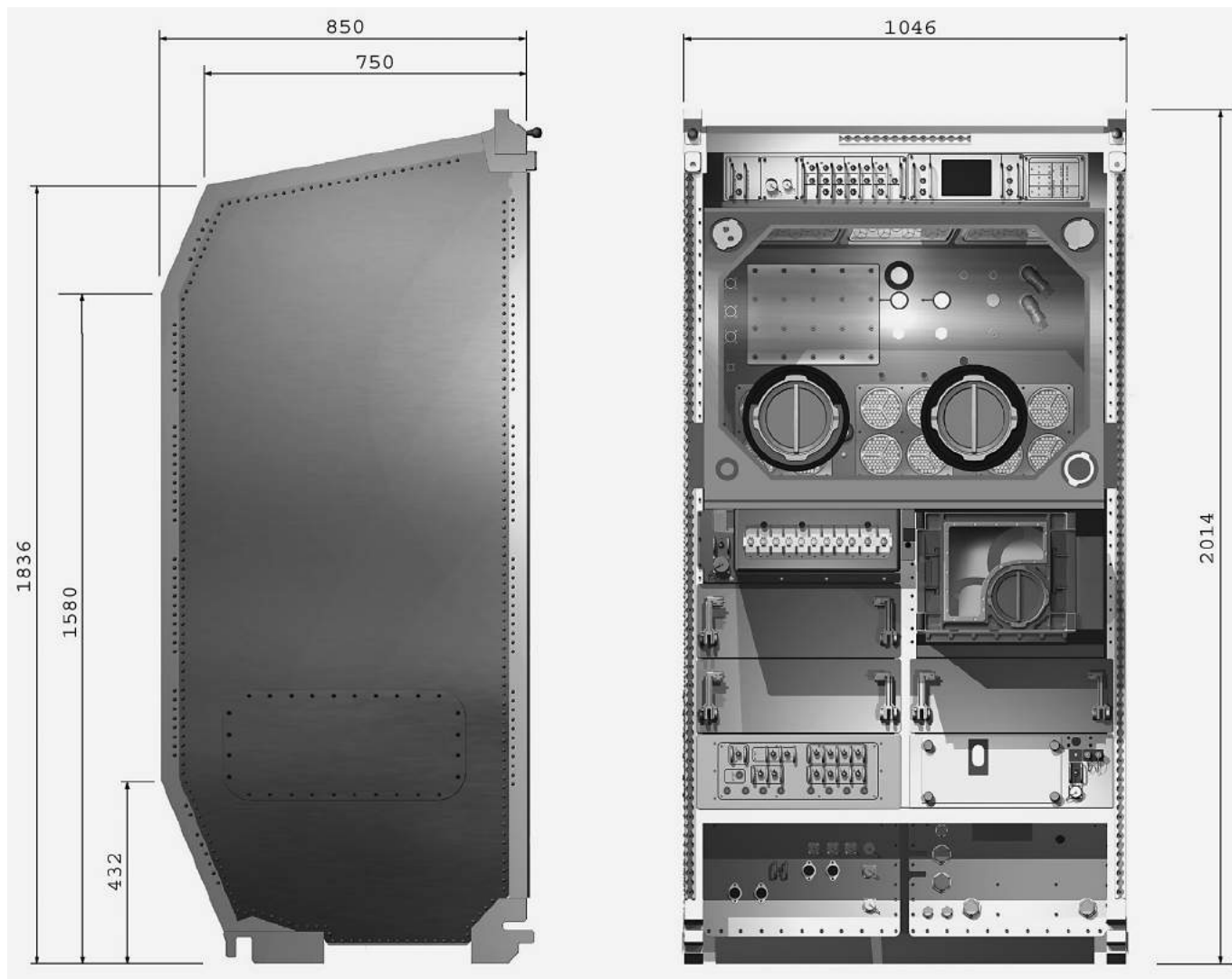
positie van de experimenterende ruimtevaarder te verbeteren.

Het principe van een laboratorium glove-box, welke ontworpen is voor gebruik in de ruimte, is gebaseerd op een dubbele isolatie ter beveiliging. De eerste maatregel is de lek-vrij gesloten structuur van het werkvolume, waardoor geen transport van gassen en/of materialen kan optreden tussen het experiment en de cabine. Ten tweede is er een onderdruk ten opzichte van de omgeving van 1,3 tot 10 mbar. Hierdoor wordt verzekerd dat alle verontreinigde lucht die mogelijk door een experiment gegenereerd wordt door de filters in de luchtbehandelingunit passeert. Er zijn drie filterbanken met elk acht filters. Elke filterbank is met een eigen ventilator uitgerust en is in staat om concentraties schadelijke stoffen (bijvoorbeeld koolmonoxide dat vrijkomt bij verbrandingsexperimenten) tot beneden de maximaal toelaatbare waarden te

reduceren. Een enkele werkende ventilator is voldoende om het werkvolume op onderdruk te houden. Elke ventilator dumpst de lucht in het zogenaamde referentiekanaal. Dit kanaal staat in open verbinding met de cabine. Door een retourrooster wordt lucht weer het werkvolume ingezogen door de aldaar heersende onderdruk. Het retourrooster laat alleen lucht in de richting vanuit het referentiekanaal in het werkvolume door.

Verschillende sensoren registreren parameters zoals temperatuur, relatieve vochtigheid, gassamenstelling en onderdruk in het werkvolume. Een water-lucht warmtewisselaar is in serie met de filters geplaatst om tot 200 Watt koelingvermogen te leveren aan de passerende lucht (koeling d.m.v. circulatie), waarmee het werkvolume en het daarin opgestelde experiment effectief gekoeld wordt. In de bodem van het werkvolume is een plaatwarmtewisselaar, de zogenaamde *cold*

Zij- en vooraanzicht van het MSG-rek met de belangrijkste maten. [ESA afbeelding]



plate, ondergebracht, waardoor een extra 800 Watt aan koelvermogen beschikbaar komt (koeling gebaseerd op geleiding). In de bodem, zijkanten en bovenzijde van het werkvolume zijn diverse gaten gemaakt in een 6 bij 7 matrix waarin M6 bouten gestoken kunnen worden ter bevestiging van de experimenten.

Via neopreen handschoenen, twee aan de voorzijde van het werkvolume en een aan de linker- en rechterzijde, kan de astronaut het experiment bewerken. Alle handschoenen zijn onzijdig wat inhoudt dat er geen onderscheid is naar linker- of rechterhandschoenen. De handschoenen zijn vastgezet in aluminium ringen, die op hun beurt weer in speciale uitsparingen aan de voorzijde en de zijkanten van het werkvolume geplaatst worden. Mocht er onverhoopt een scheur in een handschoen ontstaan, dan kan direct een deksel over de aluminium ring geplaatst worden om lekkage te voorkomen. De handschoenen hebben een standaardlengte van 700 millimeter (kan aangepast worden op verzoek) en dit stelt de astronaut in staat om alle locaties binnen het werkvolume te bereiken. Ook zijn er drie verschillende maten beschikbaar.

Een alternatief voor de handschoenen zijn de 'mouwen'. Hier is de handschoen zelf net boven de pols afgesneden. De elasticiteit van het rubber en de omtrek van de mouw, die net iets kleiner is dan de omtrek van de onderarm van de gemiddelde astronaut, zorgen voor een luchtdichte afsluiting rondom de onderarm net boven de pols. Dit stelt de astronaut in staat om zeer fijn werk te kunnen doen waar het gebruik van een handschoen belemmerend zou werken. Natuurlijk stelt dit wel andere eisen aan de stoffen en het soort experimenten dat verricht wordt, zoals giftigheid en temperatuur.

Binnenin het werkvolume is tevens het zogenaamde *Internal Control Panel* (ICP) ondergebracht waarmee enkele praktische CMP functies bediend kunnen worden. Hierdoor hoeft de experimentator niet zijn handen uit de handschoenen te halen om even vlieg handelingen, zoals het aanpassen van instellingen, op het CMP te verrichten. De ICP is verwijderbaar uit het werkvolume.

De experimenten zelf kunnen worden opgesteld door twee grote cirkelvormige openingen aan de linker- en de rechterzijde van het werkvolume. Deze openingen hebben een doorsnede van 400 millimeter. In deze openingen wordt een afsluitpaneel geplaatst welke grotendeels transparant is. In dit paneel kan een handschoen gemonteerd worden. Aan de onderzijde van het werkvolume bevindt zich de luchtsluis, die gebruikt wordt om gedurende een experiment materialen in en uit de glovebox te halen, zonder de onderdruk te verliezen.

In het werkvolume zijn diverse elektrische verbindingen aanwezig om experimenten van energie te kunnen voorzien. De beschikbare voltages zijn 5 Volt, +/-12 Volt, 28 Volt en 120 Volt gelijkstroom. De voedingsbronnen zijn in- en uit te schakelen door middel van schakelaars op de ICP en CMP, de externe laptop of vanaf de grond.

Tevens zijn er in het werkvolume een vacuüm-, ontluchting- en stikstofleidingen aanwezig ten behoeve van experimenten. Deze zijn beschikbaar door middel van hermetische *quick-disconnect* koppelingen in de achterwand van het werkvolume. De vacuüm- en ontluchtingleiding zijn te bedienen door een kogelklep, terwijl de stikstofleiding door een naaldventiel wordt bediend, zodat de stikstofstroom kan worden ingesteld. De stikstof wordt gebruikt om een inerte atmosfeer te creëren voor het experiment, terwijl de vacuümleiding eventuele schadelijke gassen kan afvoeren.

De luchtsluis

De luchtsluis wordt voornamelijk gebruikt om materialen in en uit het werkvolume te brengen terwijl de glovebox operationeel is. In het werkvolume is hiertoe een vierkante opening in de bodem aangebracht die voorzien is van een wegschuifbare deur. Over deze opening kan de luchtsluis geplaatst worden. De luchtsluis zelf is een blokvormige structuur welke in de opening onder het werkvolume in het MSG-rek geschoven wordt. Aan de bovenzijde is een opening met een deur welke over de corresponderende deur in het werkvolume valt. Materialen kunnen in de luchtsluis gebracht worden door een deur aan de voorzijde. In deze deur is ook

De vluchtwaardige MSG tijdens elektrische testen (Electromagnetic Compatibility Testen). [Bradford Engineering B.V.]



een handschoen geplaatst, welke gebruikt kan worden om materialen in de luchtsluis te manipuleren.

Als de deur tussen de luchtsluis en het werkvolume geopend is, is de luchtsluis automatisch opgenomen in de ventilatiekring van het werkvolume en staat dan ook op onderdruk. Een mechanisme verhindert dat zowel gelijktijdig de deur naar de cabine als naar het werkvolume geopend kan worden, als de luchtsluis in de glovebox zit.

De videolade

Stelt het werkvolume onderzoekers in staat om op een veilige, verantwoorde manier experimenten aan boord van het ruimtestation te verrichten, de videolade draagt zorg voor een goede waarneming en registratie van die experimenten. Het een heeft dus geen bestaanrecht zonder de ander. De videolade is uitgerust met twee analoge en twee digitale recorders, die afzonderlijk of tegelijkertijd gebruikt kunnen worden. Op de videolade zijn tot vier digitale kleurencamera's tegelijkertijd aan te sluiten. De camera's kunnen in of buiten het werkvolume geplaatst worden op verplaatsbare steunarmen. Tevens kunnen geluid en een tijdmeting en/of tekst naast het videobeeld opgenomen worden. De video-registratieapparatuur is van commerciële makelei. Door het gebruik van standaardprotocollen is het mogelijk om beelden real-time

naar de grond te zenden en is de apparatuur compatible met de interfaces in de Amerikaanse en Japanse laboratoriummodules.

De opslaglades

Het vierde element in het MSG-rek zijn de drie opslaglades. Even groot als de videolades, zijn de opslaglades gebaseerd op een ontwerp van de Boeing ISS-lade en gestandaardiseerd voor het gehele Amerikaans/Europees/Japanse segment van het ruimtestation. De lades worden gebruikt om diverse toebehoren, zoals handschoenen en reserveonderdelen in te bewaren.

Gebruik van de MSG

De MSG kent vijf modes, die de verschillende gebruiksmomenten reflecteren. Deze modes hebben voornamelijk betrekking op het al dan niet ventileren en het hermetisch gesloten zijn van het werkvolume.

Normale Modus: het werkvolume is gesloten en de ventilatoren houden de druk op het *set-point* en ten allen tijden tenminste 1,3 mbar lager dan de omgeving. De lucht in het werkvolume wordt gecirculeerd over de filters en weer terug het werkvolume in geblazen. Mocht er een lek ontstaan en de druk in het werkvolume tot boven het *set-point* stijgen, dan wordt automatisch overgeschakeld naar Open Modus.

Handmatige Modus: in tegenstelling tot de Normale Modus, is het werkvolume wel of niet gesloten terwijl de ventilatoren wel draaien.

Open Modus: mocht er in Normale Modus een lek ontstaan of een andere gebeurtenis voordoen waardoor het werkvolume niet meer lekvrij gesloten is, dan schakelt de MSG automatisch over naar de zogenaamde Open Modus. Hoewel het werkvolume niet meer lekvrij is, voorkomen de ventilatoren dat er stoffen buiten de glovebox terechtkomen zonder dat ze de filterbanken hebben gepasseerd. Mocht het nodig zijn dan kan de astronaut het experiment veilig afbreken en het probleem verhelpen.

Gesloten Modus: in tegenstelling tot de Normale Modus werken de ventilatoren niet en is de enige barrière de lekvrije geslotenheid van het werkvolume. Dit kan noodzakelijk zijn voor experimenten die geen luchtstroom of koeling nodig hebben.

Donning Modus: In deze modus is de onderdruk in het werkvolume 7 tot 15 mbar, waardoor de handschoenen als het ware worden opgeblazen door de cabinelucht die een hogere druk heeft. Hierdoor kan de astronaut makkelijker zijn handen en onderarmen in de handschoenen steken.

De reis naar het ISS

De tocht van de MSG glovebox begon in oktober 2001 toen na de laatste testen, het rek van de systeemintegrator Astrium in Bremen naar het Kennedy Space Center in Florida werd verscheept. Na aankomst begonnen de voorbereidingen voor de lancering aan boord van de shuttle Endeavour tijdens missie STS-111. De MSG zou tezamen met andere experimenten en voorraden in de *Multi Purpose Logistic Module* (MPLM) in het vrachtruim naar het ruimtestation reizen.

De MPLM, hoewel niet verbonden met het bemanningsverblijf van de shuttle, staat onder normale atmosferische druk en wordt tijdelijk aan het ruimtestation gekoppeld zodat de inhoud uitgeladen kan worden. Er zijn drie MPLM's die allemaal in Italië zijn gebouwd. Voor de missie STS-111 werd de Leonardo module gebruikt die al eerder tijdens STS-102 en STS-105 had gevlogen.

Op 20 februari 2002 vond de laatste *acceptance review* met Astrium plaats en werd de MSG officieel via ESA overgedragen aan NASA. Een week later werd de MSG in de MPLM module geplaatst. Op 6 mei werd de volgeladen MPLM module naar lanceerplatform 39A gebracht en in het vrachtruim van de al gereedstaande shuttle Endeavour geplaatst. Door het slechte weer en een gebrekkige drukregulator in het baanmanoeuvresysteem van de Endeavour werd de lancering van 30 mei uiteindelijk tot 5 juni uitgesteld. Die dag was het dan eindelijk zover en om 23:22 uur Nederlandse tijd, vertrok de shuttle richting ruimte.

Twee dagen later vond de koppeling met het ISS plaats. In totaal waren er tien astronauten tegelijk aan boord, namelijk de driekoppige Expeditie-4 bemanning, de vier shuttleastronauten en de drie bemanningsleden die samen de nieuwe hoofdbewoners zouden gaan vormen van het ruimtestation (Expeditie-5). Gedurende het bezoek van de shuttle werd de MPLM aan de nadir-poort (nadir = naar de aarde wijzend) van de Unity module gekoppeld en konden de ruimtevaarders meer dan 2,5 ton aan experimenten en voorraden uitladen en op diverse plaatsen in het ruimtestation opbergen. De MSG bleek de lancering zonder problemen te hebben doorstaan, en werd in het Destiny laboratorium geplaatst. Omdat er ook nog enkele ruimtewandelingen op het programma stonden, was er gedurende het bezoek van de shuttle geen tijd om met de nieuwe experimentfaciliteiten te werken. Op 15 juni ontkoppelde de shuttle van het ISS nadat een dag eerder de met afval gevulde MPLM weer in het vrachtruim was geplaatst. Vier dagen later landde de Endeavour op Edwards Air Force Base in Californië; het weer op Kennedy Space Center in Florida had weer eens tegengezetten. Intussen waren de Russen Valery Korzun en Sergey Treshchev, en de Amerikaanse Peggy Whitson aan hun vijf maanden durende verblijf in het ISS begonnen.

De eerste experimenten

In de eerste twee weken van juli activeerde Whitson de MSG glovebox voor gebruik en werd het eerste experiment, *Solidification Using a Baffle in Sealed Ampoules* (SUBSA),

opgesteld. Vanaf eind augustus zou Whitson het *Pore Formation and Mobility Investigation* (PFMI) experiment uitvoeren. Wegens de thermische aspecten hadden beide experimenten een lange doorlooptijd. Een beschrijving van beide experimenten wordt hierna gegeven.

Het SUBSA-experiment

Het SUBSA-experiment was het eerste experiment in de MSG glovebox en een van de eerste materiaalexperimenten aan boord van het ruimtestation. Onderwerp van de proef was om pure semi-conductor kristallen te smelten waarna een stof werd toegevoegd om de opto-elektronische eigenschappen van de kristallen beter te kunnen controleren. Voor het toevoegingproces moeten de kristallen in een vloeibare fase verkeren. Maar door het significante verschil in dichtheid tussen de vloeibare kristallen en het toevoegingmateriaal laten beiden zich op aarde moeilijk mengen tot een homogeen mengsel. Net als water en olie zich moeilijk laten mengen omdat door het verschil in dichtheid de olie op het water zal blijven drijven. In het microzwaartekrachtklimaat aan boord van het ruimtestation zijn dergelijke experimenten veel beter uit te voeren. Betere semi-conductor kristallen resulteren in een afname van de omvang van hightech apparaten, zoals computer chips, elektronische circuits en een breed scala van elektronische sensoren voor bijvoorbeeld medische scanners en detectoren voor nucleaire straling.

Het experiment behelsde het gebruik van een oven; de eerste in de ruimte met een transparant venster zodat de processen die zich in de oven afspeelden visueel vastgelegd konden worden. Ook de ampullen met daarin de kristallen waren transparant. De oven werd opgesteld in het werkvolume van de MSG glovebox. Met een videocamera werden beelden van het experiment opgeslagen en direct naar de wetenschappers op aarde gestuurd.

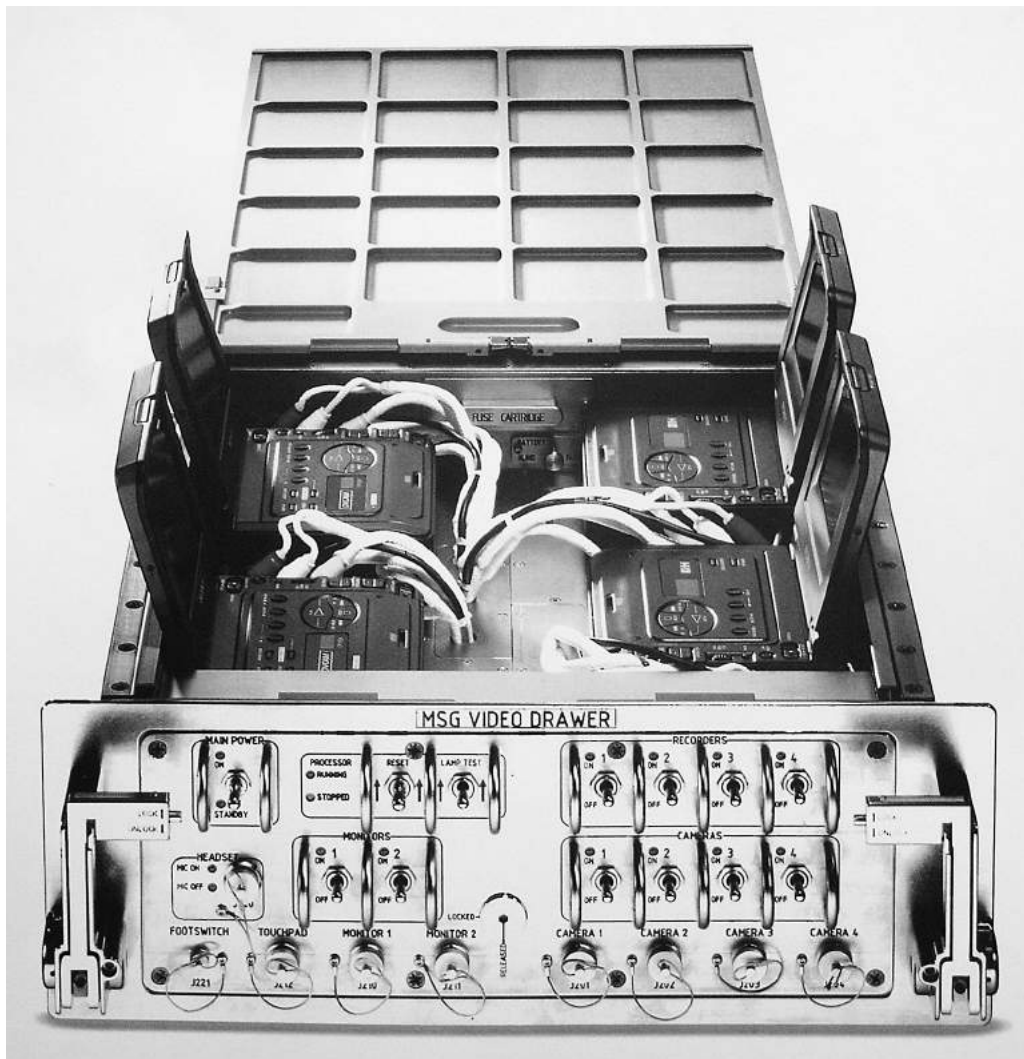
Voor het SUBSA-experiment werden indium antimonide semi-conductor kristallen gebruikt waaraan tellurium en zink werden toegevoegd. Bij het afkoelen ontstond vervolgens een enkele kristalstructuur waarin elementen van beide uitgangsstoffen een plaats hadden. De wetenschappers, onder

leiding van Dr. Aleksandar Ostrogorsky van het Rensselaer Polytechnisch Instituut in Troy, New York, hebben deze specifieke semi-conductor kristallen gebruikt omdat het smelttraject rond de 512 graden Celsius ligt en dat het zeer bruikbaar is om kristalvormen te maken die nuttig zijn voor verschillende toepassingen. Gedurende het stollen van het mengsel treedt een kristalstructuur op die één richting georiënteerd is. Elke ampul is 4,8 centimeter lang en heeft een inwendige diameter van 1,2 centimeter en is gemaakt van een hoge kwaliteit kwarts.

Al tijdens shuttlemissie werden soortgelijke materiaalexperimenten uitgevoerd, maar uit de resultaten bleek dat er altijd een kleine stroming in het vloeibare mengsel bleef bestaan, waardoor de menging toch niet van zo'n hoge kwaliteit werd als men zou mogen verwachten. Het bleef onduidelijk of deze stroming werd veroorzaakt door microzwaartekrachtverstoringen of door het ontstaan van bellen en het loskomen van de smelt van de wanden van de ampul. Daar eerdere experimenten in niet-transparante containers en ampullen hadden plaatsgevonden, kon de precieze oorzaak niet worden vastgesteld.

Doelstelling van het SUBSA experiment was om de oorzaak van de stromingen in het mengsel te identificeren en te bepalen hoe deze stromingen verminderd of zelfs vermeden kunnen worden. Om stromingen te verminderen waren verschillende ampullen uitgerust met een zogenaamde *baffle*, een diskachtige structuur met kleine kanalen die de bewegingen na het mengen moest uitdempen. Tweede maatregel die werd onderzocht is het gebruik van een cohesievloeistof die zich aan de binnenkant van de ampul hechtte. Deze vloeistof moest er zorg voor dragen dat het kristalmengsel niet losliet van de binnenwand en dat er zodoende bellen gevormd werden.

Tijdens Expeditie-5 worden in totaal 12 ampullen met verschillende configuraties getest; elke ampulcyclus duurt 10 tot 15 uur. Het duurt ongeveer twee uur om de oven met de ampul op te warmen tot 790 graden Celsius. De kristal- en toevoegmaterialen zullen dan langzaam smelten en als de temperatuur weer daalt, geleidelijk weer stollen. De astro-



De videolade van de MSG zoals deze los uit het MSG-rek genomen kan worden. Duidelijk zijn de vier video-recorders te zien. [Bradford Engineering B.V.]

naut controleert intussen periodiek het proces en wisselt op gezette tijden de videobanden in de videolade.

Omdat het kristalmengsel zich langs een geometrische as oriënteert, treedt tijdens het stollen een geringe expansie van het materiaal op terwijl langs de twee daarop loodrecht gerichte assen een kleine krimp optreedt. Het experiment was zo ontworpen dat de uitzetting zich altijd langs de lengteas van de ampul zou richten en niet over de kleinere dwarsdoorsnede.

Om onduidelijke redenen stelde een van de ampullen in een andere oriëntatie waardoor in de richting van de kleinste doorsnede van de ampul een uitzetting plaatsvond die de ampul uiteindelijk brak. De nog halfvloeibare inhoud van de ampul kwam in het werkvolume terecht, waardoor de binnenwanden verontreinigd werden met het onderzoeks-

materiaal. Hierdoor bewees de glovebox in de praktijk haar bestaansrecht; er was namelijk geen materiaal buiten het werkvolume in de cabineomgeving terechtgekomen dat eventueel diverse instrumenten had kunnen beschadigen. Nadat in overleg met de vluchtleiding een procedure was opgesteld kon de binnenkant van het werkvolume worden gereinigd en werd het SUBSA-experiment voortgezet. De resultaten van het SUBSA experiment zullen pas bekend worden gemaakt geruime tijd nadat de ampullen naar de aarde zijn teruggebracht (in het kader van missie STS-113).

Het PFMI-experiment

Het PFMI-experiment behelst het onderzoek aan een fenomeen dat ook een rol speelde in het SUBSA experiment, namelijk de vorming van bellen in vloeistoffen. Maar waar SUBSA zich tevens concentreerde op semi-conductor kristallen, welke zelf niet transparant zijn, richt PFMI zich op transparante stoffen om

Verleden en toekomst van gloveboxen

In de eerste twee decennia van de ruimtevaart was er weinig behoefte aan gloveboxen in bemande ruimtevaartuigen. In de jaren zestig was de maanrace nog in volle gang en toen in de zeventiger jaren de eerste ruimtestations werden gelanceerd, was er geen voldoende plaats of tijd om het gebruik van gloveboxen te rechtvaardigen. Pas tijdens de ontwikkeling van het Europese Spacelab dat in de jaren tachtig in de Amerikaanse spaceshuttle zou gaan vliegen, werd er gedacht aan het gebruik van een glovebox ten behoeve van experimenten. Halverwege de jaren tachtig ontwikkelde het technisch centrum van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA, ESTEC in Noordwijk, een glovebox welke met succes gebruikt werd voor enkele experimenten tijdens de vlucht van Wubbo Ockels in 1985.

Na de Challenger ramp zou het tot begin jaren negentig dueren eer Spacelab weer gebruikt werd. Begin jaren negentig legde ESTEC contact met het Nederlandse bedrijf Bradford Engineering B.V. met het verzoek om een microscoop te ontwikkelen en te bouwen die gebruikt kon worden op de bestaande glovebox. Later volgde andere vervolgoopdrachten, zoals de Middeck Glovebox die in het middendeck van de shuttlecabine of in Spacelab gebruikt kon worden. De Middeck Glovebox vloog verschillende malen aan boord van de shuttle, en werd zelfs gedurende twee jaren aan boord van het Russische ruimtestation Mir gebruikt.

In 1994 verwierf Bradford de opdracht voor de bouw van de veel grotere Microgravity Science Glovebox die in de Amerikaanse laboratoriummodule van het te bouwen International Space Station geplaatst zou worden. De MSG werd in juni 2002 gelanceerd en zal voornamelijk voor materiaalkundige en technologische experimenten gebruikt worden.

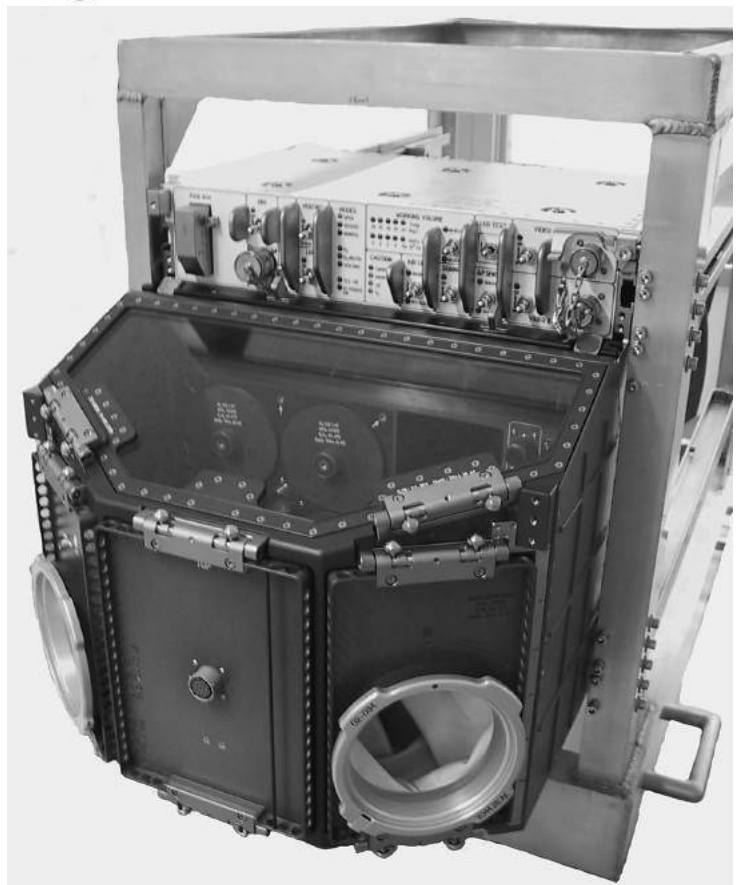
Parallel aan de MSG bouwt Bradford de Life Sciences Glovebox (LSG) die uiteindelijk in de centrifuge module van het ISS geplaatst zal worden. De LSG is voornamelijk bedoeld voor biologische en fysiologische experimenten en wordt samen met de door Japan gebouwde centrifuge-eenheid gebruikt. In de centrifuge met een doorsnede van 2,5 meter kan de zwaartekracht gevarieerd worden tussen 0,1 en 2,0 maal de normale aardse zwaartekracht. Om de biologische specimen goed te kunnen bewerken is de LSG uitgerust met een werkvolume dat met 500 liter bijna twee keer zo groot is als dat van de MSG. Hierdoor kunnen twee astronauten tegelijkertijd in het werkvolume handelingen verrichten. Op de LSG kunnen uitwisselbare luchtsluizen aangesloten worden die ook in de centrifuge geplaatst kunnen worden. Hierdoor zijn de specimen snel en veilig tussen de glovebox en de centrifuge te transporteren.

Voor het Europese Columbus laboratorium is de Biological Glovebox ontwikkeld. Deze op de Middeck Glovebox gebaseerde faciliteit is uitgerust met een op ozon werkende sterilisatie eenheid, waarmee de inhoud van de glovebox tot een hoge mate van steriliteit gereinigd kan worden. Dit maakt experimenten mogelijk welke geen enkele bacterievorming kunnen toestaan, zoals de ontwikkeling en bereiding van nieuwe medicijnen die een hoge biologische puurheid vereisen. Als een spin-off op de Biological Glovebox is Bradford momenteel bezig met de ontwikkeling van een draagbare sterilisatie-unit welke op aarde door hulpdiensten gebruikt kan worden. Potentiële gebruikers van deze techniek zijn instanties zoals Artsen zonder Grenzen, het Rode Kruis, ambulancediensten, militaire hulpdiensten, enzovoorts.

Voor de toekomst zijn mede door de modulaire opzet van het ISS, nieuwe ontwikkelingen mogelijk. Daaronder valt onder andere de Triple Containment Glovebox, waar het gesloten werkvolume in een tweede lekvrij omhulsel wordt geplaatst waar een onderdruk heerst die lager is dan in de cabine of in het werkvolume. Zo wordt voorkomen dat materialen of gassen de glovebox uit komen, of kunnen binnentreden zonder filtratie tot beneden de maximaal toegestane waarden. De huidige gloveboxen verhinderen in principe alleen dat stoffen uit het werkvolume naar buiten treden. Zowel vanuit het ruimtevaartsegment als uit de civiele wereld is grote interesse getoond in de Triple Containment Glovebox technologie.



Het engineering model van de Life Science Glovebox. Let op de oriëntatie van het werkvolume dat een kwartslag gedraaid is ten opzichte van de MSG. [Bradford Engineering B.V.]



Het vluchtexemplaar van de Biological Glovebox gemonteerd in een transportframe. [Bradford Engineering B.V.]

zodoende de processen erin beter in beeld te kunnen brengen. Doelstelling is om de oorzaak en de distributie van belvorming in het materiaal te onderzoeken en uiteindelijk beter te kunnen voorspellen. Als een materiaal met bellen erin stolt, zorgen de ontstane holtes voor een poreuze, sponsachtige structuur, welke de sterkte en de bruikbaarheid van het materiaal negatief beïnvloedt.

Gedurende het PFMI-experiment zullen monsters van transparante proefmaterialen, zoals succinonitrile en succinonitrileoplossing in water, verwarmd worden tot het volledig gesmolten is. Daartoe wordt de oven tot 130 graden Celsius verwarmd. Elk monster zit in een transparante buis van 1 centimeter doorsnede met een lengte van 20 centimeter. Wetenschappers zullen proberen om tijdens het verwarmen van sommige monsters technieken toe te passen die de vorming en bewegingen van de bellen moet beïnvloeden, met als doel de poreusheid over de lengte van het monster te verminderen. De monsters zullen met de shuttle naar de aarde worden teruggebracht aan het einde van STS-114, momenteel gepland voor maart 2003.

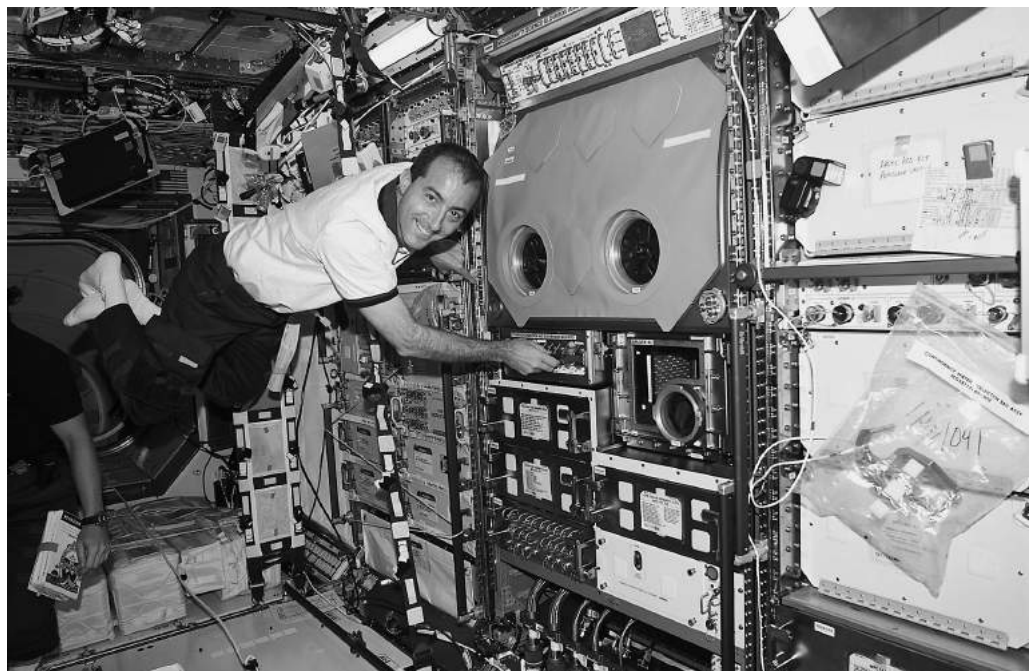
Conclusie

Hoewel de bouw van ISS nog volop aan de gang is, is er al wel een begin gemaakt met het wetenschappelijk onderzoek aan boord van het ruimtestation. Daarmee wordt de

belangrijkste bestaansreden voor het station vervuld. De Microgravity Science Glovebox is een van eerste en tevens een van de grootste en belangrijkste instrumenten die dit onderzoek mogelijk maken. Draaiden de meeste experimenten tot nu toe autonoom en vereisten ze slechts af en toe periodieke controles en onderhoud, de MSG stelt onderzoekers in staat om op een veilige manier arbeidsintensieve experimenten voor te stellen en uit te voeren.

In tegenstelling tot de gloveboxen die tijdens de shuttlemissies in de jaren tachtig en negentig zijn gebruikt, zijn nu experimenten mogelijk die een langere doorlooptijd vereisen. Zo zou bijvoorbeeld de SUBSA- en PMFI-experimenten nooit binnen een twee weken durende shuttlevlucht kunnen worden uitgevoerd, daar het geleidelijk opwarmen en afkoelen van een enkel proefmonster alleen al tot 15 uur in beslag kan nemen. Dergelijke shuttle vluchten hebben van nature weinig tot geen tijd voor het oplossen van onverwachte problemen zoals we die gezien hebben bij het breken van een ampul gedurende het SUBSA-experiment.

De Microgravity Science Glovebox en haar opvolgers zullen een onmisbaar gereedschap zijn voor wetenschappelijk onderzoek in het microzwaartekrachtsklimaat aan boord van ongeacht welk ruimtestation of ruimtevaartuig dan ook.



De Franse astronaut Perrin zweeft langs de MSG die net geïnstalleerd is in de Destiny Module (juni 2002, shuttlevlucht STS-111). [NASA Human Spaceflight]