

# Genesis

## Een stukje van de zon op aarde

*Henk H.F. Smid  
ribs Space Consultancy & Insurance*

**Waar is de zon van gemaakt en zijn de aarde en de andere planeten van hetzelfde materiaal gemaakt? Omdat we geen ooggetuigenverslag hebben van het ontstaan van ons zonnestelsel, proberen wetenschappers er achter te komen wat toen precies is gebeurd door van kleine stukjes puzzel een waarheidsgetrouw beeld in elkaar te zetten. Stukjes van die puzzel zijn onder meer meteorieten en interstellair ruimtestof. Een zeer belangrijk stukje van de puzzel zou kennis over de exacte samenstelling van de zon zijn. De Genesis missie van de NASA is bedoeld om hierbij te helpen. Genesis is geen tijdmachine en kan dus niet terug naar de tijd toen ons zonnestelsel is ontstaan. Wat Genesis echter wel gaat doen, is het beste dat voorlopig mogelijk is.**

### Inleiding

Het Genesis ruimtevaartuig werd op 8 augustus 2001 door NASA met behulp van een Delta 2 draagraket in de ruimte gebracht. Het ruimtevaartuig zal in de richting van de zon reizen naar een plaats buiten het magnetisch veld van de aarde en waar de zwaartekrachtsvelden van de zon en de aarde elkaar opheffen. Daar aangekomen zal Genesis zijn collectoren openen en deze blootstellen aan de door de zon uitgestoten zonnewind. Deeltjes van de zonnewind zullen zich vastzetten op de collectoren. Na 29 maanden in omloop zullen de collectoren zich sluiten en naar de aarde worden teruggebracht. In september 2004 zal de terugkeercapsule boven de woestijn van Utah uit de lucht worden geplukt en voor bestudering ter beschikking worden gesteld aan de wetenschappelijke gemeenschap.

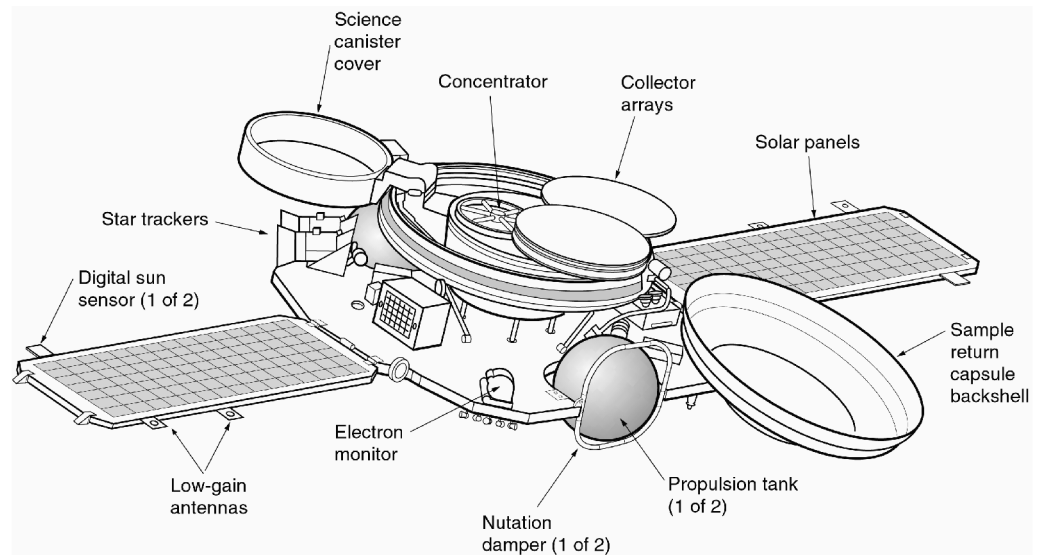
### Mysterie van onze zonnenevel

Een paar miljard jaren geleden, nadat generaties van nog oudere zonnen waren geboren en gestorven, stortte een draaiende wolk van stof en gas in zich zelf ineen en vormde zo een nieuwe ster. Toen de bolvormige wolk ineenstortte, werd ze, terwijl ze om haar as bleef draaien, steeds platter. De wolk bestond voornamelijk uit atomen waterstof en helium met hier en daar meer gecompliceerde elementen die waren gesmeed in de interne

ovens en explosies van stervende oudere sterren. Al terwijl de nieuwe zon haar vorm kreeg in het centrum van de wolk, vormden zich verder uit het centrum verstoringen. In een, gemeten in astronomische standaarden, korte tijd, slechts een paar tientallen miljoenen jaren of minder, vormden deze draaikolken van materie zich tot planeten in een nieuw sterrenstelsel. Vandaag de dag is dat sterrenstelsel een opmerkelijke verzameling van omgevingen – van immense bergen en enorme, grillige ravijnen op rotsachtige binnenste planeten tot zwavelvulkanen en ijsgeisers op manen die cirkelen rond zeer grote gasvormige planeten verder weg van deze ster. Legio kometen en planetoïden scheren tussen de banen van deze planeten door.

Astronomen vertellen ons dit verhaal over het ontstaan van de zon, onze aarde en het zonnestelsel waarin wij leven. Er is een hoop bewijs voor dit verhaal door vele tientallen jaren van observaties van het heelal rondom ons heen. Maar hoe de vorming van het stelsel precies in zijn werk is gegaan, stelt ons en de wetenschap nog steeds voor grote mysteries.

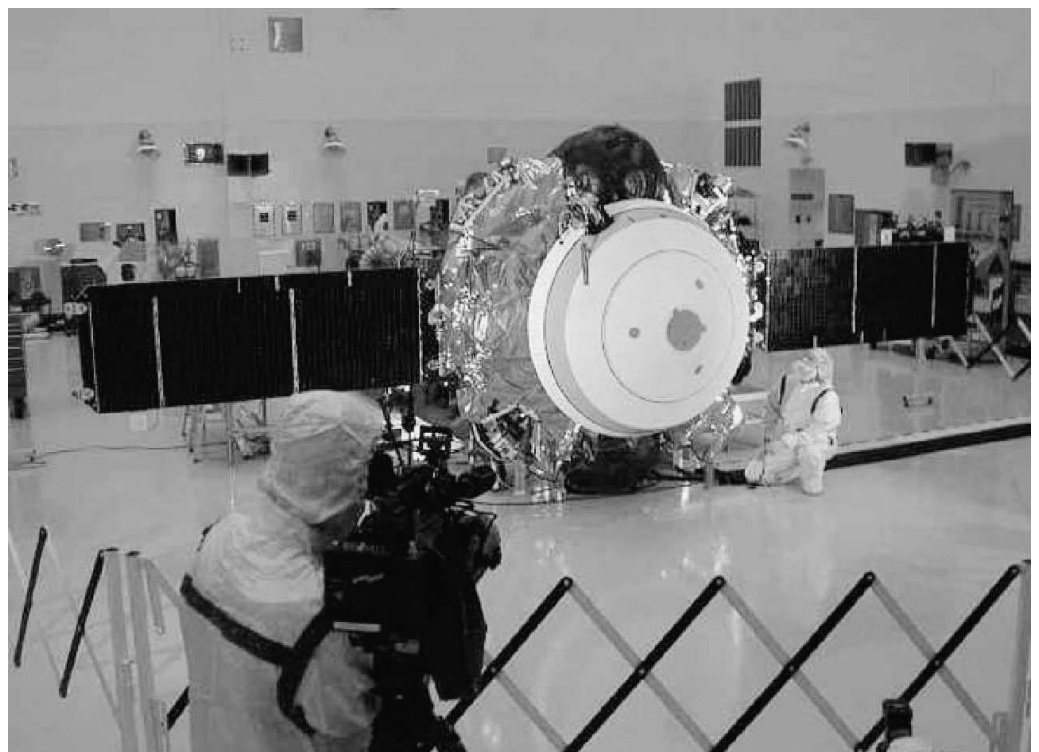
Een van de wegen die wetenschappers volgen in de beantwoording van de vraag hoe ons zonnestelsel zich heeft gevormd, is het vergelijken van elementen en isotopen die de originele wolk van stof en gas vormden waaruit het huidige zonnestelsel is ontstaan. Een isotoop is een variatie van een element dat zwaarder of lichter is dan de standaard vorm



van dat element omdat het een atoomkern heeft met meer of minder neutronen. De juiste vraag die hier dan moet worden gesteld is: “Maar wat waren dan de ingrediënten in de originele zonnenevel?” Gelukkig zorgt de natuur voor een fossiele verslaglegging van het ontstaan van de zonnenevel. De zon heeft, zoals elke ster van zulke afmetingen, een buitenste atmosfeer die langzaam en zeker uitdijt in de ruimte. Materiaal in die buitenste atmosfeer, dat voornamelijk bestaat uit elektrisch geladen atomen, ionen genaamd, stroomt eindeloos van de zon weg en dit noemen we de zonnewind. Deze wind is als het ware een foto van de materialen van

de oppervlaktelagen van de zon die op haar beurt weer een spiegel is van de materialen in de oorspronkelijke zonnenevel. Dit gegeven nu is de rationale van de Genesis missie. Door voorbij de invloed van het aardse magnetisch veld te vliegen, kan het ruimtevaartuig deeltjes van de zonnewind invangen en zo de materialen ontdekken van de wolk waaruit vijf miljard jaren geleden ons zonnestelsel is voortgekomen.

Astronomen hebben langdurig de samenstelling van de zon bestudeerd door het kleurenspectrum van de zon te ontleden waarbij van instrumenten achter telescopen en van



Genesis in de assemblagehal. [SPACE.com]

## Zonnestudies

Gedurende de missies van Apollo 11, 12, 14, 15 en 16, werden er experimenten uitgevoerd om achter de samenstelling van zonnwind te komen [1969 – 1972]

**Ulysses** [ESA, NASA] 6 oktober 1990

**WIND** [NASA] 1 november 1994

**SOHO** [ESA, NASA] Solar and Heliospheric Observatory, 2 december 1995

**ACE** [NASA] Advanced Composition Explorer, 25 augustus 1997

**TRACE** [NASA] Transition Region and Coronal Explorer, 2 april 1998

**HESSI** [NASA] High Energy Solar Spectroscopic Imager, 2001

**TIMED** [NASA] Thermosphere, Ionosphere, Mesosphere, Energetics and Dynamics Mission, 2001

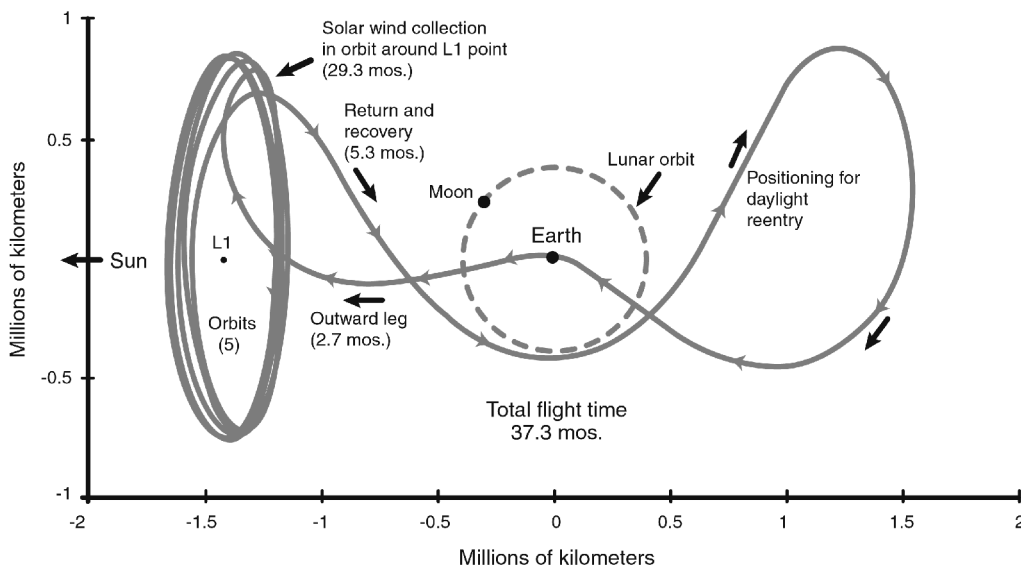
Voor meer informatie zie: [http://sec.gsfc.nasa.gov/sec\\_missions.htm](http://sec.gsfc.nasa.gov/sec_missions.htm)

satellieten gebruik werd gemaakt (zie kader). Deze observaties zijn nu niet nauwkeurig genoeg meer om met deze studie voort te gaan. Door de zonnwind direct te analyseren, kunnen wetenschappers nauwkeurig de verdeling van isotopen en elementen in de zonnenevel vaststellen. De gegevens die Genesis gaat verzamelen, zijn noodzakelijk om de theorieën over het ontstaan van zonnenevels en de evolutie van planeten te vervolmaken.

## De missie van Genesis

Om haar missie uit te voeren zal Genesis reizen naar een punt dat ligt op ongeveer 1,5 miljoen kilometer van de aarde in de richting van de zon waar gravitatie- en centrifugale

krachten die op het ruimtevaartuig inwerken, in balans zijn. Dit punt is het Lagrange 1 punt, kortweg L1. Omdat Genesis daar ver buiten de invloed van de atmosfeer van de aarde en van haar magnetische invloed vliegt, is het mogelijk dat het ruimtevaartuig een zuiver monster van de zonnwind kan nemen. Het vliegpad van Genesis lijkt op een serie lussen: eerst in een bocht van de aarde weg naar het L1 punt, daarna daar vijf keren omheen cirkelen, om tenslotte via een lus rond het tegenovergestelde Lagrange punt, L2, terug te keren zodat het ruimtevaartuig in een goede positie kan komen om de weg naar de aarde te beginnen. Het L1 punt is een goede plaats voor een ruimtevaartuig dat de zon bestudeert. Een ruimtevaartuig dat daar in een zogenaamde “halo” omloop wordt geplaatst, dit is een omloop rond een punt



Missie traject van het Genesis ruimtevaartuig. [NASA]

## Discovery programma

Genesis is de vijfde missie in het Discovery programma van NASA. Dit programma dat in 1992 werd gestart, voorziet in lage kosten projecten op het gebied van wetenschappelijke studies met betrekking tot onderzoek van ons zonnestelsel. De navolgende missies zijn in het Discovery programma gedefinieerd.

**NEAR**, Near Earth Asteroid Rendezvous, 17 februari 1996

**Mars Pathfinder**, 4 december 1996

**Lunar Prospector**, 7 januari 1998

**Stardust**, 1 februari 1999

**Contour**, Comet Nucleus Tour, juli 2002

**Aspera 3**, Analyser of Space Plasma and Energetic Atoms, 2003 (Mars Express)

**Deep Impact**, januari 2004

**Messenger**, Mercury Surface, Space Environment, Geochemistry and Ranging, maart 2004

**NetLander**, 2007

Voor meer informatie zie: <http://discovery.nasa.gov>

in de ruimte en niet rond een fysiek object, heeft een ononderbroken zicht op de zon zonder dat het steeds gebruik moet maken van stuwstoffen om haar positie te stabiliseren. Genesis zal hier ongeveer drie maanden na de lancering aankomen (november 2001).

De wetenschappelijke instrumenten van Genesis zullen samenwerken in het categoriseren van de zonnwind en in het nemen van monsters daarvan. Deze periode zal in april 2004 stoppen waarna het ruimtevaartuig weer naar de aarde zal terugkeren. In september 2004 zal de capsule met de monsters aan een parachute neerdalen boven de Test- en Training Range van de Amerikaanse Luchtmacht in Utah. Speciaal getrainde helikopterpiloten zullen dan proberen de capsule in de vlucht op te vangen om zo te voorkomen dat de monsters worden verstoord door de landing met de parachute. De monsters zullen dan naar het Johnson Space Center van de NASA in Houston, Texas worden gevlogen waar ze onder extreem zuivere omstandigheden zullen worden opgeslagen.

## De lancering

De 636 kg wegende Genesis werd gelanceerd door een Delta 2, type 7326, draagraket. Drie vaste brandstof aanjaagraketten

werden bij deze lancering gebruikt. De lanceerperiode voor Genesis liep van 30 juli tot 14 augustus 2001. Elke dag was er een twee minuten durend venster waarbinnen de lancering plaats kon vinden. Genesis werd gelanceerd van het lanceercomplex 17A op het Cape Canaveral Air Force Station in Florida. 65 seconden na de lancering werden de drie aanjaagraketten afgeworpen. Vier minuten en 35 seconden na de start was de eerste trap uitgebrand en werd deze afgestoten. Seconden later werd de stroomlijncap op de neus van de raket eveneens afgeworpen. Tien minuten en 32 seconden na de lancering schakelde de tweede trap van de raket zich voor de eerste keer uit. Op dit punt vloog het geheel in een lage omloop rond de aarde ( $\pm 190$  km), en begon aan een ongeveer 46 minuten durend traject dat het geheel in de juiste positie voor de ontsnapping van de aarde moest brengen. Aldaar aangekomen werd de tweede trap opnieuw gestart.

Kleine raketjes werden afgevuurd om de derde trap, die via een draaitafel aan de tweede trap was bevestigd, rond te doen draaien. Daarop werden tweede en derde trap gescheiden en werd de motor van de derde trap gestart. Dit zond het ruimtevaartuig op weg naar L1. Het rondraaien werd gestopt zodat Genesis zich op L1 kon oriën-

teren. Ongeveer 64 minuten na de lancering maakte Genesis zich los van de derde trap. Onmiddellijk na de separatie werden de zonnepanelen uitgevouwen en vastgezet. Het ruimtevaartuig richtte deze panelen vervolgens op de zon en schakelde zijn zender in. Het eerste signaal dat door Genesis werd uitgezonden, werd één uur en acht minuten na de lancering via de 34 meter diameter grote antenne in Goldstone in Californië opgevangen.

De vlucht naar L1 zal ongeveer drie maanden in beslag nemen. De voornaamste activiteiten gedurende deze vlucht zijn controle van het ruimtevaartuig en de instrumenten. Ook is het mogelijk dat Genesis enigszins wordt bijgestuurd. Wetenschappelijke activiteiten gedurende deze fase van de vlucht zijn ondermeer het kalibreren van de ion- en elektronmonitoren. Ook wordt bijvoorbeeld het deksel van de capsule met collectoren even geopend zodat daar nog aanwezig aardse gas, dat de collectoren nog zou kunnen vervuilen, kan worden geventileerd. Na de initiële contacten met Genesis, zal de computer aan boord een keer per maand worden geüpdate in geplande communicatie sessies. Het ruimtevaartuig zal zijn positie en oriëntatie bepalen via een sterrenvolger en een zonsensor. Gedurende het grootste deel van de missie zal het ruimtevaartuig de antenne richting aarde en de zonnepanelen richting zon houden.

Gedurende de vlucht naar L1 zijn er vijf mogelijkheden om het vliegp pad van het ruimtevaartuig te corrigeren. Dit kan worden gedaan door de motoren die Genesis aan boord heeft af te vuren. De eerste mogelijkheid was twee dagen na de lancering en deze was bedoeld om kleine geanticiperde lanceerfouten te corrigeren. De volgende correctie is optioneel en zal na zeven dagen worden uitgevoerd. Het door Genesis uitgezonden signaal gedurende de vlucht naar L1 zal met behulp van radiometrische- en Dopplertechnieken worden geanalyseerd om de afstand tot de aarde te bepalen en om te helpen bij de navigatie van het ruimtevaartuig. Genesis zal voortdurend worden gevolgd gedurende de eerste twintig dagen van de missie en de laatste drie tot tien dagen wanneer de capsule terugkeert naar de

aarde. Voor de rest van de missie zal Genesis ongeveer 12 uur per week worden gevolgd. Het verzamelen van zonnewinddeeltjes zal in oktober 2001 beginnen. Dit is ongeveer één maand voor L1 wordt bereikt.

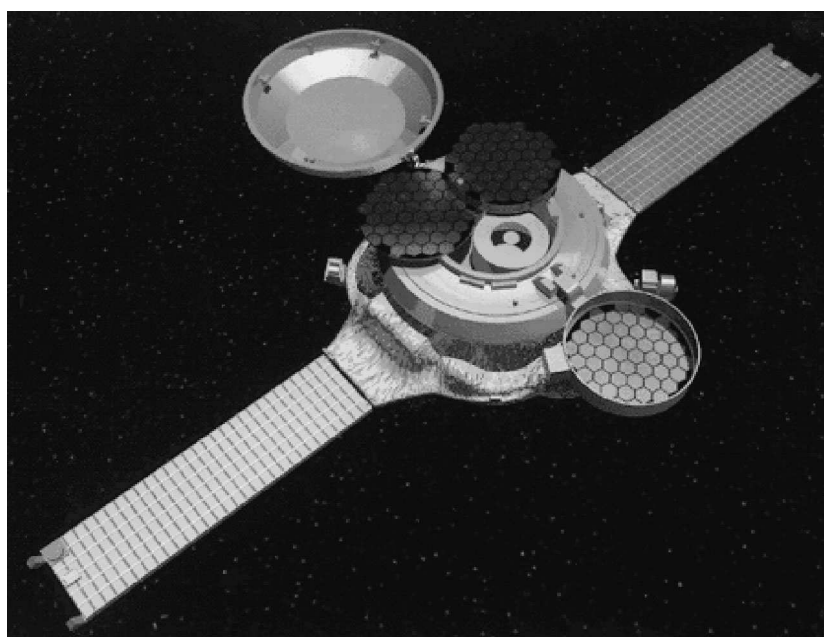
## Aankomst bij L1

In november 2001 zal Genesis aankomen bij L1. Daar zullen de grote motoren van het ruimtevaartuig worden ontstoken zodat Genesis in de juiste omloop komt. Het vliegp pad is zo gekozen dat het ruimtevaartuig uiteindelijk op een natuurlijke manier L1 weer zal verlaten, richting het tweede Lagrange punt, L2, zal vliegen en uiteindelijk weer naar de aarde zal terugkeren. De aarde bevindt zich tussen de zon en L2. Elke acht weken zullen kleine motoren van het ruimtevaartuig worden afgevuurd om in de "halo" omloop te blijven. Genesis zal in deze omloop 29 – 30 maanden blijven waarbij vijf omlopen zullen worden voltooid. Dit betekent dat ongeveer 80% van de totale vluchtduur van Genesis gebruikt zal worden voor het verzamelen van zonnewinddeeltjes.

## Verzamelen van zonnewinddeeltjes

Ongeveer 80 dagen na de lancering zal Genesis het deksel van de wetenschappelijke capsule openen en de collectoren blootstellen.

*Het Genesis ruimtevaartuig met opengeklapte collectoren. [NASA]*



## Zonnewind

Als wetenschappers naar de straling van de zon in het Röntgengebied kijken, lijken sommige gebieden van de corona donker te zijn; deze gebieden worden corona gaten genoemd. In plaats van een gesloten systeem te vormen, openen deze gaten zich in de richting van de ruimte (uitwaarts) en de aanwezige plasma kan ontsnappen als zonnewind met een zeer hoge snelheid. De zonnewind van grote corona gaten kan snelheden bereiken van meer dan 800 km/s.

Verondersteld wordt dat zonnewind met een lage snelheid, met een gemiddelde snelheid van ongeveer 300 km/s, ontstaat uit de grensgebieden van de corona gaten en andere gebieden van het oppervlak van de zon. Hier zorgt de magnetische geometrie er voor dat materiaal van de zon niet gemakkelijk kan ontsnappen en daarom is de uitwaartse zonnewind relatief langzaam.

Deze enigszins regelmatige zonnewinden worden soms verstoord door gebeurtenissen die corona massa-uitbarstingen worden genoemd. Zulke uitbarstingen ontstaan als een magnetisch gesloten systeem of een groep van zulke systemen plotseling onstabiel worden en uitwaarts de ruimte inblazen. De zonnewind van zulke uitbarstingen kan, afhankelijk van de energie van de verstoring, langzaam of snel zijn. Deze gebeurtenissen worden het meest waargenomen als de zonnevlek uitbarstingen op zijn hoogst zijn in haar elf jarige cyclus.

Sommige uitbarstingen gaan gepaard met zonnevlammen, ander juist niet. Een zonnevlam is een plotselinge verheldering die gepaard gaat met een uitbarsting van straling die de aarde in ongeveer twee dagen kan bereiken. Vaak wordt (satelliet)communicatie hierdoor gestoord.

Materiaal van een corona massa-uitbarsting bevat vaak grotere fracties van helium-ionen, ook bekend als alfadeeltjes, vergeleken met het aantal waterstof-ionen, of protonen. Zulke uitbarstingen gaan samen met een daling in temperatuur van de ionen omdat het materiaal snel uitdijt als het de zon verlaat. Gedurende zo'n uitbarsting volgen de energetische elektronen vaak een magnetische baan die de elektronen weer naar de zon terugbrengt.

Genesis zal van alle drie typen van zonnewind monsters mee terug naar de aarde nemen, zodat wetenschappers de verschillen in de typen kunnen vaststellen door de elementen en isotopen te bepalen. Data van de ion- en elektronmonitors worden gebruikt om te kunnen bepalen welk type zonnewind op een bepaald moment het ruimtevaartuig passeerde.

len aan de zonnewind. Deze collectoren zijn cirkelvormige platen die aan één zijde zijn bedekt met achthoekige tegeltjes die zijn gemaakt van zeer zuivere materialen, zoals silicium en saffier, om de zonnewind op te vangen. De ion- en elektronmonitors die op het instrumentenpaneel zijn geplaatst, detecteren veranderingen in de zonnewind. Gegevens over deze veranderingen worden doorgegeven aan de hoofdcomputer van het ruimtevaartuig die de collectoren in de juiste positie plaatst. De ion- en elektronmonitors kunnen drie soorten zonnewind onder-

scheiden. Dit zijn snelle en langzame winden en zonne-uitbarstingen. Dit onderscheid kan worden gemaakt door de karakteristieke temperatuur, snelheid, richting en samenstelling te meten. Er zijn drie groepen van collectoren die of blootgesteld of verborgen worden van de zonnewind, één voor elk type. Het juiste type collector wordt zo alleen aan het juiste soort zonnewind blootgesteld. Er zijn nog twee andere collectoren, één aan de binnenkant van de terugkeercapsule en een andere op het rek waar de drie specifieke collectoren zijn aangebracht.

Deze collectoren ondergaan constant de hele zonnewind.

Een ander belangrijk instrument op het Genesis ruimtevaartuig is de zonnewind fixeerder. Deze collector fixeert de zonnewind op een kleine groep van collector tegeltjes die zijn gemaakt van diamant en koolstofsilicium. Deze collector verzamelt zonnewinddeeltjes gedurende de hele tijd dat de terugkeercapsule is geopend.

Nadat Genesis de meting aan de zonnewind heeft afgesloten, wordt de terugkeercapsule hermetisch gesloten. Genesis zal dan aan de terugkeer naar de aarde beginnen. Zoals gepland zal na vijf lussen rond het L1 punt de invloed van de aarde, de maan en de zon het vliegp pad van Genesis rond het L1 punt hebben veranderd in een traject naar L2 en naar de aarde. Vanwege de positie van de plaats van landing in Utah, en de geometrie van het vliegp pad, kan Genesis de aarde niet rechtstreeks aanvliegen voor een landing bij daglicht. Vandaar dat Genesis de terugvlucht via L2 maakt waarbij wel een daglicht landing in Utah mogelijk is.

## Terugkeerfase

Gedurende de terugkeerfase naar de aarde zijn er zes mogelijkheden om de motoren van het ruimtevaartuig te starten en koerscorrecties aan te brengen. Van deze zes mogelijkheden zijn er drie erg belangrijk en wel die op 30 dagen, tien dagen en één dag voor de landing op aarde. Deze drie koerscorrecties maken zeker dat Genesis op de juiste plaats zal landen. Op 1 mei 2004 zal de aarde voorbij worden gevlogen en begeeft het ruimtevaartuig zich op weg naar L2. De laatste koerscorrectie zal plaatsvinden nadat Genesis zich rond het L2 punt heeft geslingerd en zich op weg naar de aarde bevindt.

Na de laatste koerscorrectie zal de terugkeercapsule, zes uur voor de terugkeer in de dampkring, zich op de aarde richten. Om de stabiliteit van het ruimtevaartuig te verhogen, wordt de rotatiesnelheid tot 15 omwentelingen per minuut verhoogd. Twee uur later wordt de capsule losgemaakt. Het ruimtevaartuig wordt in een afwijkende koers

gebracht zodat het niet kan botsen met de terugkeercapsule. Het ruimtevaartuig zal boven de Grote Oceaan in de atmosfeer vergaan. Als in deze laatste fase, vóór het loslaten van de capsule, iets verkeerd mocht gaan, bestaat er een ontsnappingsscenario waarbij het ruimtevaartuig mét de capsule in een (24 dagen) elliptische baan om de aarde wordt gebracht en er een volgende poging kan worden gedaan.

De capsule komt met een snelheid van ongeveer 11 km/s boven Oregon de atmosfeer binnen. Door de botte neuskegel en de dikker wordende atmosfeer wordt deze snelheid al gauw minder en de capsule zal vliegend in zuidwestelijke richting Nevada passeren en boven Utah komen. Een vliegparachute (parafoil) zal zich dan ontplooien en de capsule zal met zo'n 5 m/s dalen, langzaam genoeg om door een helikopter te worden opgevangen. Om de terugkeer te overleven en aan te komen in het gebied waar twaalf helikopters de capsule opwachten, moet de baan van de capsule tot op 0,08° nauwkeurig zijn (vergelijkbaar met een *hole in one* op 40 meter bij golf). Om zeker te stellen dat de capsule in ieder geval wordt gevonden als het oppikken in de vlucht niet tot een goed einde wordt gebracht, heeft de capsule een baken aan boord waarmee de helikopterteams hem kunnen opsporen. De capsule met de kostbare lading zal vanuit Utah naar het NASA Johnson Space Center in Houston, Texas worden gebracht.

## Conclusie

Na een perfecte lancering op 8 augustus jl. is het Genesis ruimtevaartuig op weg naar het Lagrange 1 punt om 10 tot 20 microgram (het gewicht van een paar korreltjes zout) van de zon te gaan halen. Als de missie slaagt, zijn in september 2004 wetenschappers in staat hun theorieën over het ontstaan van ons zonnestelsel aan een stukje praktijk te toetsen. In dit millennium is Genesis het eerste ruimtevaartuig dat de mensheid in staat stelt sterrenstof voor onderzoek naar de aarde te halen.

Met dank aan NASA voor de uitgebreide informatie op Internet.