

# De Hermes Robot Arm

## Fijnmechanische techniek in de ruimte

D.F. Kuiper, Fokker Space & Systems

### Inleiding

De Hermes Robot Arm (Hera) is een geavanceerde robot voor telemanipulatie operaties in de ruimte. Hera vormt een onderdeel van het Europese ruimteveer Hermes, een bemand voertuig voor onderhoud en bevoorrading van elementen van de Europese infrastructuur in de ruimte. Hera combineert precisiemechanismen met uitgebreide computerbesturing, die het de bestuurder mogelijk maken om aan boord van Hermes tal van operaties in de nabijheid van het ruimteveer uit te voeren.

Dit artikel geeft een beeld van de opzet van het voorontwerp van Hera, dat vooraf gaat aan het eigenlijke ontwerp en het fabricageproces van de arm.

### De Hermes Robot Arm (Hera)

Onder leiding van ESDA, de Europese ruimtevaartorganisatie, bouwt Europa aan een eigen infrastructuur in de ruimte, om naast het internationale samenwerkingsverband van het permanent bemande Space Station (Verenigde Staten, Japan en Europa), ook een onafhankelijke positie op te bouwen en de hiervoor benodigde technologie zelf te beheersen. Het plan is om deze infrastructuur in de loop van de jaren '90 te realiseren.

Twee hoofdelementen van deze infrastructuur zijn het ruimtetransportsysteem Hermes en het ruimtelaboratorium MTFF (Man Tended Free Flyer). MTFF is een ruimtestation dat permanent in een lage equatoriale baan om de aarde verkeert, waarin tal van experimenten uitgevoerd kunnen worden. MTFF geeft Europa de langdurige beschikking over een laboratoriumomgeving met microzwaartekracht, condities, belangrijk om onderzoek te doen naar speciale medicijnen, kristalgroei mechanismen, etc. Twee keer per jaar wordt MTFF bezocht door het ruimteveer Hermes dat eraan vast koppelt en bevoorrading en onderhoud verzorgt, zoals vervanging van experimenten, bevoorrading met brandstof en verrichten van reparaties. Voor periodiek onderhoud en controle van de experimenten aan boord kan de Hermes bemanning enkele dagen aan boord van MTFF verblijven.

Hermes is een volledig herbruikbaar bemand transportvoertuig dat als primaire missie onderhoud en bevoorrading van MTFF heeft. Hermes wordt

gelanceerd door een vergrote versie van de Ariane raket vanaf de lanceerbasis in Kourou (Frans Guyana) en keert, na voltooiing van zijn missie, op eigen kracht terug naar de basis.

Hermes is als vliegtuig vergelijkbaar met de Amerikaanse Space Shuttle, maar er wordt naar een veel compacter ontwerp gestreefd: het is ongeveer de helft kleiner en heeft geen aparte open laadruimte. Naast onderhoud van MTFF kunnen ook andere taken verricht worden, zoals het bezoeken van het internationale Space Station of onafhankelijke missies.

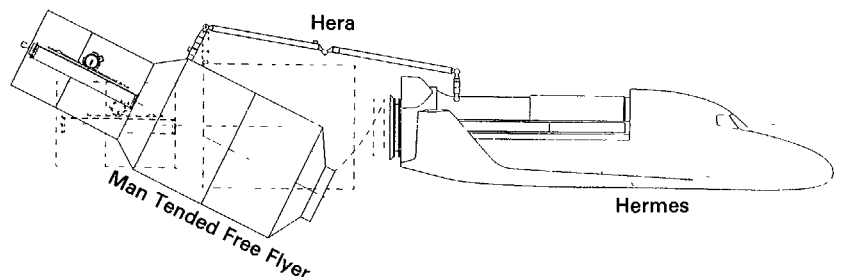
Voor de onderhoudsmis­sie van MTFF moet Hermes MTFF in zijn baan om de aarde onderscheppen en er met zijn luchtsluis aan vast koppelen. De bemanning kan dan overstappen om onderhoud te plegen aan de experimenten en apparatuur binnen in MTFF. Voor het onderhoud aan de modulen buiten op MTFF, zoals voortstuwingsmodule, regel­elektronica, brandstof en zonnepanelen is Hermes uitgerust met de robotarm Hera. Niet alleen kunnen dergelijke modulen, Orbit Replaceable Units (ORU), vervangen worden met behulp van Hera, maar ook is manipu­latie van

grotere elementen mogelijk. Ter illustratie is in figuur 1 weergegeven hoe Hera Hermes en MTFF ten opzichte van elkaar herpositioneert om de bereikbaarheid van de ORU's te verbeteren. De luchtsluis van Hermes is aan de achterzijde van Hermes te zien.

Hoewel Hera in beginsel gemaakt zal worden voor de hierboven beschreven missie, wordt bij de opzet van het concept ervan uitgegaan dat de Hera robotarm één van de essentiële bouwstenen is voor een onderhouds- en reparatiesysteem in de ruimte. In hoge mate modulair van opzet is Hera ook op andere ruimtevaartuigen toepasbaar; daarom is het concept functioneel breed opgezet. Hera is een tweede generatie ruimtemanipulator, met het Shuttle Remote Manipulator Systeem (SRMS), de Canadese arm voor de NASA Space Shuttle, als voorloper. Hera biedt de bestuurder een grotere mate van computerondersteuning met behoud van operationele flexibiliteit en is ter besparing van massa verregaand geïntegreerd met het ruimteveer Hermes.

### Het Hera project

Nederland speelt in de ontwikkeling van Hera een belangrijke rol, waarbij Fokker Space & Systems hoofdaannemer van het project is en een internationaal projectteam aanvoert. Binnen Nederland zijn naast Fokker andere bedrijven en instituten betrokken. Zo is het Nederlandse Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium (NLR) verantwoordelijk voor de computer-simulatiefaciliteiten en zijn Stork Product Engineering en TNO-Product Center betrokken bij de ontwikkeling van armmechanismen.



Figuur 1 Herpositioneren van MTFF en Hermes door Hera

Het Hera project is in 1985 door Nederland opgezet onder supervisie van het Nederlandse Instituut voor Vliegtuigontwikkeling en Ruimtevaart (NIVR) en begin 1987 overgedragen aan ESA. Na een eerste opzet van het systeem en een voorlopige functionele specificatie, verkeert het project momenteel in een fase waarin de eisen aan het systeem zo volledig mogelijk gespecificeerd moeten worden. Hierbij is veel interactie met de Hermes en MTFF projecten, aangezien een robotarm een geïntegreerd deel van zijn omgeving is en een aangepaste omgeving nodig heeft.

Op basis van het volledige eisenpakket kan het uiteindelijke systeemconcept gedefinieerd worden, alvorens met het ontwerpen en testen van subsystemen te beginnen. De eigenlijke ontwerpfasen start in 1990, ontwikkeling en testen worden in de eerste helft van de jaren negentig uitgevoerd. Oplevering van het Hera systeem en integratie met het Hermes vliegtuig vinden hierna plaats, zodat eind 1999 de eerste testvluchten gedaan kunnen worden.

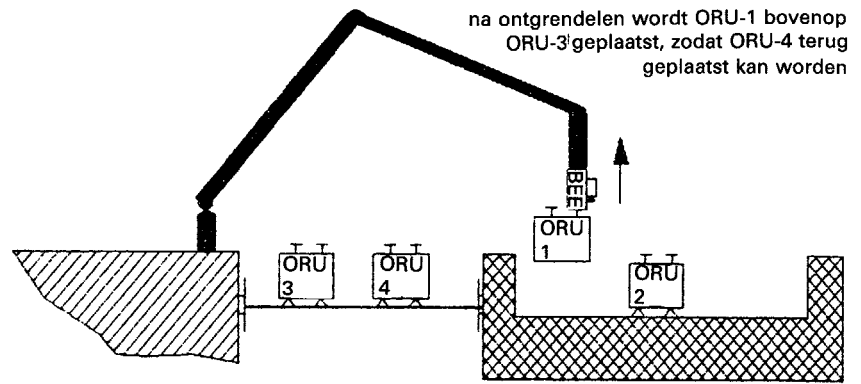
### Functionele beschrijving van Hera

Een uitgangspunt voor de opzet van het Hera concept is dat Hera de rol van modulair element van de Europese infrastructuur in de ruimte moet vervullen. Daartoe zijn de volgende generieke functies voor Hera gedefinieerd:

- vangen van een vrijvliegend ruimtevaartuig en dit in een stabiele toestand houden ten opzichte van Hermes,
- manipulatie van elementen,
- vervanging van standaard modulen (ORUs) van 0,7x0,7x0,7 meter, zoals bijvoorbeeld de modulen van MTFF,
- manipulatie van gereedschappen of hulpstukken; een voorbeeld is een voetstuk voor een astronaut om Hera als "hoogwerker" te kunnen gebruiken, of een uitschuifbare mast met camera voor visuele inspectie.

De lasten die Hera moet kunnen manipuleren zijn voorzien van een standaard grijpbeugel en hebben goed gedefinieerde geometrische en inertiale eigenschappen. In grootte variëren ze van kleine gereedschappen en ORU's tot grote satellieten en MTFF zelf. Figuur 2 toont het vervangen van een ORU door Hera.

Tijdens de operaties wordt Hera bestuurd door een bemanningslid van Hermes vanuit de cockpit, die kan kiezen uit handbesturing, volledig automatische besturing en tussenliggende hybride besturingsvormen. Afhankelijk van de gekozen vorm worden de opera-



Figuur 2 Vervisselen van een ORU op een platform

ties in mindere of meerdere mate voorgeprogrammeerd, waarbij de bestuurder – steeds ondersteund door de machine – de uiteindelijke supervisieverantwoordelijkheid heeft. Van een vooraf gedefinieerd punt van de arm of de gemanipuleerde last kan de snelheidsvector, de krachtsvector, de positie of een combinatie hiervan gestuurd worden, waarbij de regellus zowel door de machine als door de bestuurder gesloten kan worden. Daartoe is een krachtensor aan het einde van de arm aanwezig en met behulp van een tv-camera op het grijpermechanisme worden relatieve posities ten opzichte van de grijpbeugel gemeten.

### Prestaties van Hera

Hera heeft een totale lengte van 10,5 meter en een snelheidsbereik van de tip van 1 mm/s tot 20 cm/s. De massa van de last kan variëren van 1 kg tot 20 ton, met een op de last uit te oefenen aandrijfkraft van 50 N en een remkracht van 100 N. De operationele snelheden worden zodanig aan de inertia van de last aangepast, dat deze altijd binnen 10 cm geremd kan worden. De nauwkeurigheid van de arm voor het grijpen van een ORU-module is 1 cm, waarbij de last met een stijfheid van 500 N/m ondersteund moet kunnen worden. Totale massa inclusief de standaard gereedschappen, maar zonder de besturingscomputers en bedieningspaneel van Hermes, is 200 kg.

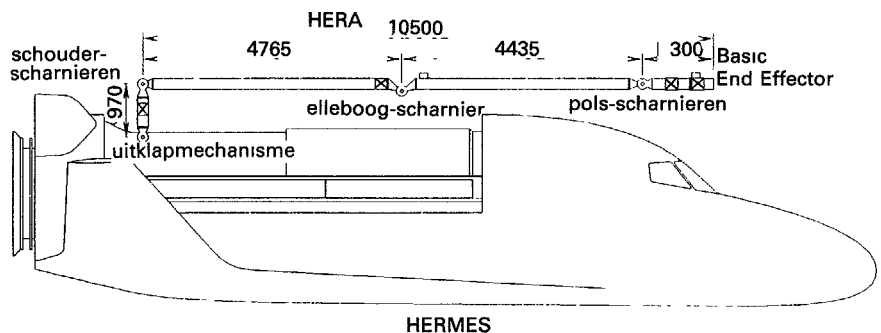
### Het Hera systeemconcept

Het Hera systeem is opgesplitst in een aantal subsystemen, een verdeling op grond van zowel functionele aspecten als projectorganisatie. De subsystemen zijn weer samengevoegd tot drie hoofdgroepen:

- de manipulator arm, met aandrijfmechanismen, grijpermechanisme en lokale elektronica;
- het centrale besturingssysteem, waaronder de Hermes computers en bedieningspaneel vallen;
- computersimulatie en testfaciliteiten, die voornamelijk tijdens de ontwerp- en testfase gebruikt worden.

De Hera arm is een antropomorfische arm met rotatiescharnieren, twee voor de schouder, één voor de elleboog en drie voor de pols. De scharnieren zijn verbonden door twee lange buiselementen van koolstofvezelversterkte kunststof. Aan de pols is het grijpermechanisme, de Basic End Effector, bevestigd, die gemaakt is voor de gestandaardiseerde Europese grijpbeugel.

In de scharnieren zitten aandrijvingsmechanismen met eigen besturingselektronica. Communicatie met de centrale computers en de stroomvoorziening gaan via een databus en een voedingsbus die over de arm loopt tot aan de Basic End Effector. De arm is, dubbelgevouwen met de elleboog, op de bovenzijde van Hermes in langsrichting opgeslagen, met de schouder verbonden aan een opklapmechanisme aan de achterzijde van het vliegtuig, zoals in figuur 3 weergegeven.



Figuur 3 Zij-aanzicht van Hera en Hermes

Het besturingssysteem van de arm is opgesplitst over de computers en beeldschermen van Hermes en de elektronica modules op de arm zelf. Het centrale besturingssysteem is ondergebracht in de Hermes computers en bevat functies als interpretatie van besturingscommando's, coördinatie van de scharnier regelingen en supervisie van operatie en systeem. De elektronica modules op de arm verzorgen de besturing en servoregeling van de armmechanismen.

De operaties zijn vastgelegd in procedures, die het mogelijk maken de operatie door het besturingssysteem in elementaire functies op te laten splitsen en in serie te laten uitvoeren. Met behulp van vooraf gedefinieerde transitie-criteria controleert het systeem de overgang tussen de elementaire functies. Voorbeeld van een elementaire functie is "VERPLAATS [last 1] NAAR [positie 5b]" met als transitie-criterium "[positie 5b] BEREIKT?"

De bestuurder van Hera heeft tijdens de operaties geen direct zicht (via een raam) op de arm en het besturingssysteem moet derhalve alle essentiële informatie bieden. Er zijn twee tv-schermen en twee grafische schermen, die samen met twee stuurknuppels en een toetsenbord het bedieningspaneel vormen. De tv-schermen geven beelden van de camera op het eind van de arm en overzichtsbeelden van de gehele arm via camera's op het Hermes vliegtuig.

Voor het ontwerpen van Hera en het verifiëren of het ontwerp aan alle eisen voldoet wordt intensief gebruik gemaakt van computersimulaties. Gedetailleerde en dus rekenintensieve simulaties worden gebruikt om de eigenschappen van de geregelde arm te bepalen en bijvoorbeeld om de nauwkeurigheden van de arm te verifiëren. De operationele procedures en de ergonomische aspecten van de interactie van Hera met de bestuurder worden onderzocht met een real-time simulatiefaciliteit. Deze geeft de bestuurder hetzelfde gevoel als het besturen van de echte arm aan boord van Hermes.

Daar Hera in de ruimte niet door zwaartekracht belast wordt en het ontwerp daar volledig op is afgestemd, kan Hera het eigen gewicht onder aardse omstandigheden niet dragen. Voor het testen van de arm zelf wordt daarom gebruik gemaakt van een vloer van vlakgelepen staalplaten met een luchtlagerondersteuning voor de arm. Hiermee kunnen alleen tweedimensionale operaties uitgevoerd worden die gedeeltelijk het ontwerp van Hera verifiëren en waardevol vergelijkingsmateriaal leveren

voor de ontwerp-simulaties. Een volledig representatieve test kan slechts in de ruimtetijdens de testvluchten gedaan worden.

### Specifieke eisen voor de ruimtevaart

In de specifieke eisen die de ruimte-omgeving met zich brengt, kunnen als denkmodel ook een systeemniveau en subsysteemniveau onderscheiden worden.

Belangrijkste eis op systeemniveau is de veiligheid, aangezien Hera onderdeel is van een bemand systeem. De volgende aspecten van het ontwerp zijn hieraan gerelateerd:

- met behulp van de vooraf bekende geometrie van Hera, last en omgeving, detecteert het besturingssysteem mogelijke botsingen tussen deze elementen en stopt in dat geval tijdig de arm;
- als de stroom uitvalt worden automatisch de remmen van de arm bekrachtigd;
- elektrische en elektronische onderdelen van Hera zijn ofwel redundant of er zijn andere mogelijkheden om Hera bij een fouttoch op Hermes opte kunnen vouwen;
- het besturingssysteem test zichzelf en de arm op verschillende niveaus en stopt de arm in geval van een fout; De bestuurder moet dan ingrijpen en het systeem herconfigureren.
- de tv-schermen van het bedieningspaneel tonen direct de camerabeelden, waarbij zo min mogelijk Hera elementen in de keten zitten; Dit is een directe check op de juistheid van de informatie op het bedieningspaneel.
- als de arm op geen enkele manier meer is te opereren, kan een astronaut in ruimtetak de arm terugvouwen op Hermes. Indien een astronaut niet naar buiten kan of mag, kan vanuit de cabine Hera worden losgeschroefd van Hermes en worden achtergelaten, zodat een veilige terugkeer van de bemanning geen gevaar loopt.

Op subsysteemniveau zijn naast veiligheid en betrouwbaarheid de omgevingsomstandigheden belangrijk. Zo wordt de arm blootgesteld aan:

- extreme temperaturen; Ondanks thermische isolatie en verwarmingselementen moeten de mechanismen kunnen functioneren van  $-35^{\circ}\text{C}$  tot  $+70^{\circ}\text{C}$ .
- hoge doses elektromagnetische straling, die vooral van belang zijn voor de betrouwbaarheid van de elektronica;

- sterke schokken en trillingen tijdens de lancering en terugkeer van Hermes.

Om zeker te stellen dat Hera onder deze omstandigheden betrouwbaar functioneert is een uitgebreid testprogramma voorzien, met termische testen, vibratie testen, etc. De opbouw van dit testprogramma is "bottum-up": het testen begint op componentenniveau, vervolgens worden de componenten stap voor stap geïntegreerd tot subsystemen en vervolgens tot de arm zelf, waarbij na iedere integratiestap een testfase doorlopen wordt. Op deze manier worden alleen goedgekeurde elementen tot een groter geheel samengebouwd, zodat opsporen van fouten zich waarschijnlijk kan beperken tot de laatste doorlopen integratiefase.

### Subsystemen van de mechanische arm

Het ontwerpproces van Hera is in feite een vertaalslag van systeemeisen naar subsysteemeisen en resulteert uiteindelijk in specificaties voor alle subsystemen. Van twee mechanismen van de arm, de scharnier-actuator en het grijpermechanisme, worden nu de concepten en specificaties besproken, zoals opgesteld in de eerste ontwerp-slag.

### De scharnier-actuatoren

De aandrijfmechanismen of actuatoren voor het bewegen van de arm zijn opgenomen in de rotatiescharnieren van schouder, elleboog en pols, zes in totaal. De actuator-elektronica is in een afzonderlijke doos ondergebracht tussen aandrijving en buiselement; voor de schouder- en polsscharnieren is de elektronica in één module ondergebracht. De bedrading die over de arm loopt maakt ter plaatse van een scharnier deel uit van de actuator zelf en is door middel van connectoren met de hoofdbedrading verbonden. Zo is de actuator een functionele eenheid en kan deze apart getest worden. Om gemakkelijke rotatie van de draadbundel over het scharnier mogelijk te maken, liggen de draden in een lus en zijn ze losjes samengebondeld.

De actuator is opgebouwd rond een borstelloze gelijkstroommotor en een precisie-tandwieloverbrenging. Voor de servoregeling wordt de hoekverdraaiing van het scharnier met een digitale positie-sensor gemeten en de snelheid van de motor door een tachogenerator op de motoras. Tevens is op de motoras de mechanische schijfrem gemonteerd, door een veer of magneet bekrachtigd, die door spanning op een spoel gedeactiveerd wordt. Op de uit-

gaande as zijn behalve de positie-sensor ook schakelaars aangebracht die, voordat het scharnier tegen zijn grenzen aanloopt, de motor uitschakelen en de rem activeren. De thermische huishouding van de actuator wordt lokaal geregeld met verwarmingselementen en temperatuursensoren. Het mechanisme is samengebouwd tot een compact geheel van  $\varnothing 200 \times 200$  mm.

De gelijkstroommotor wordt aangestuurd met pulsbreedtemodulatie, een efficiënte regeling op de motorstroom, die is opgenomen in de elektronica-module van de actuator. Hierin zit ook de op een microprocessor gebaseerde elektronica die de schakellogica en de servoregeling verzorgt. Elektrische voeding van de actuator gaat via de voedingsbus, en wordt lokaal omgezet naar de gewenste spanningen. Communicatie met de centrale computers, zoals motorsnelheidscommando's en sensor-signalen, lopen via de databus. Kritische aspecten van het ontwerp zijn de lage massa, de hoge eisen aan de tandwieloverbrenging en de stabiliteit van de servoregeling,

Binnen het kleine volume moet een stijve overbrenging gerealiseerd worden om elastische vervormingen van de arm te beperken. Aangezien de rem op de motoras aangrijpt, wordt in geval van remmen deze vervorming doorgegeven aan de hele arm. De speling tussen in- en uitgaande as mag slechts 1 boogminuut zijn, terwijl er gepoogd wordt om de frictie in de actuator minimaal te houden. Combinatie van deze twee factoren met de omgevingscondities (vacuum, groot temperatuurbereik) stelt zeer hoge eisen aan de smering van de tandwielen.

Deze eisen hebben geleid tot een voorlopige keuze voor een "harmonic-drive" tandwieloverbrenging, die in vergelijking met mogelijke alternatieven – zoals de "cyclo-drive" – vooral qua massa gunstig is. De harmonic-drive wordt als standaard eindtrap gebruikt, met een planetaire overbrenging als voortrap. Aangezien olie in vacuüm niet goed bruikbaar is voor de smering van de tandwielen, moet naar alternatieven gezocht worden, zoals een opgedampte loodlaag of molybdeensulfide. Uitgebreide testen zullen moeten uitwijzen welke combinatie van tandwieloverbrenging en smering optimaal is.

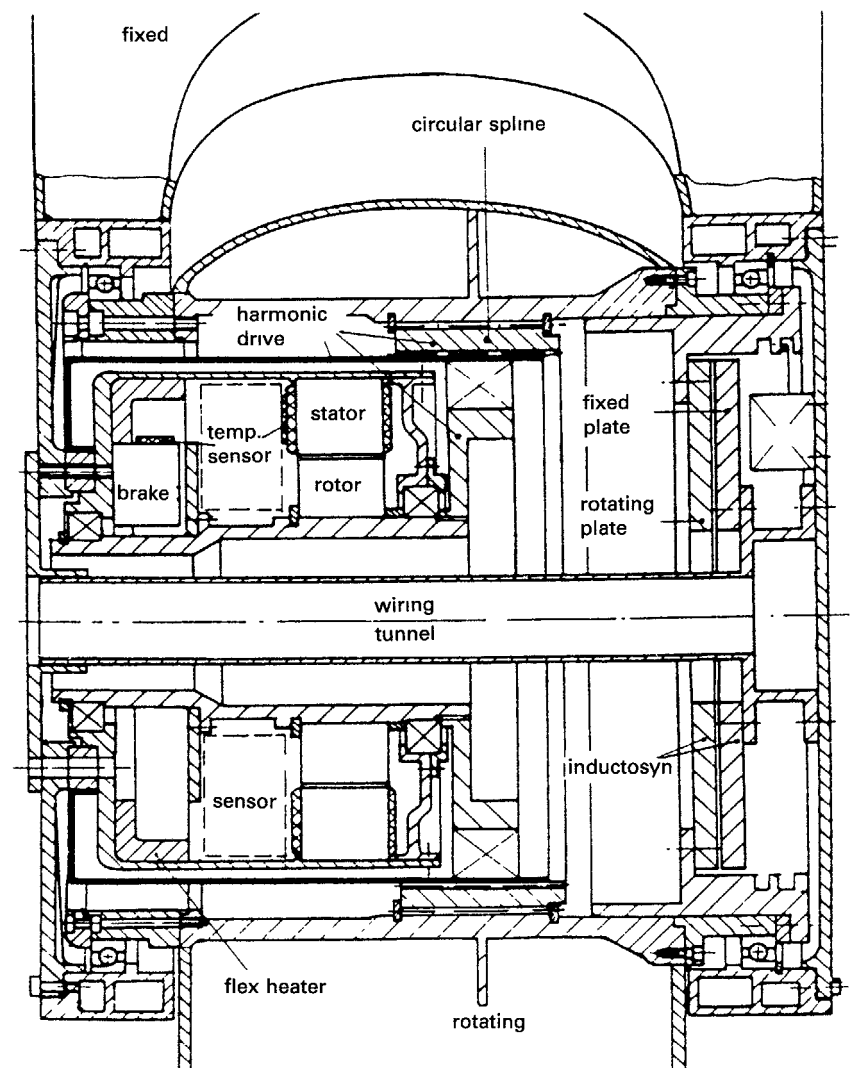
De inertiaële belasting van een actuator varieert met de stand van de arm en de massa van de last, en is bij benadering gelijk aan het kwadraat van de afstand actuator-last vermenigvuldigd met de

lastmassa. Zowel afstand als massa kunnen over een groot gebied variëren, zodat de inertiaële belasting van een actuator het gebied van 1 tot  $3.5 \cdot 10^6$  kg.m<sup>2</sup> bestrijkt. De servoregeling, ondergebracht in de microprocessor, moet voor dit hele gebied een stabiel en bevredigend gedrag opleveren. Hiertoe kunnen de parameters van de servoregeling afhankelijk van de last en de

stand van de arm aangepast worden op commando van het centrale besturingssysteem. Voor het detailontwerp van een dergelijke servoregeling is het gebruik van computersimulaties een onmisbaar hulpmiddel.

Onderstaande tabel geeft de belangrijkste gegevens over de actuator van de schouder.

uitgangskoppel:	450 N.m
remkoppel:	650 N.m
max. rotatiesnelheid:	0,20 rad/sec
overbrengingsstijfheid:	$2,0 \cdot 10^5$ N.m/rad
overbrengingsverhouding:	1:500
overbrengingsspel:	0,9 arcmin
positie-sensor-resolutie:	10 arcsec
motortacho-resolutie:	0,017 rad/sec
massa mechanisme:	13,0 kg
massa elektronica:	3,5 kg
volumen mechanica:	$\varnothing 0,2 \times 0,2$ m
volumen elektronica:	$0,2 \times 0,2 \times 0,2$ m



Figuur 4 Dwarsdoorsnede van het actuatormechanisme

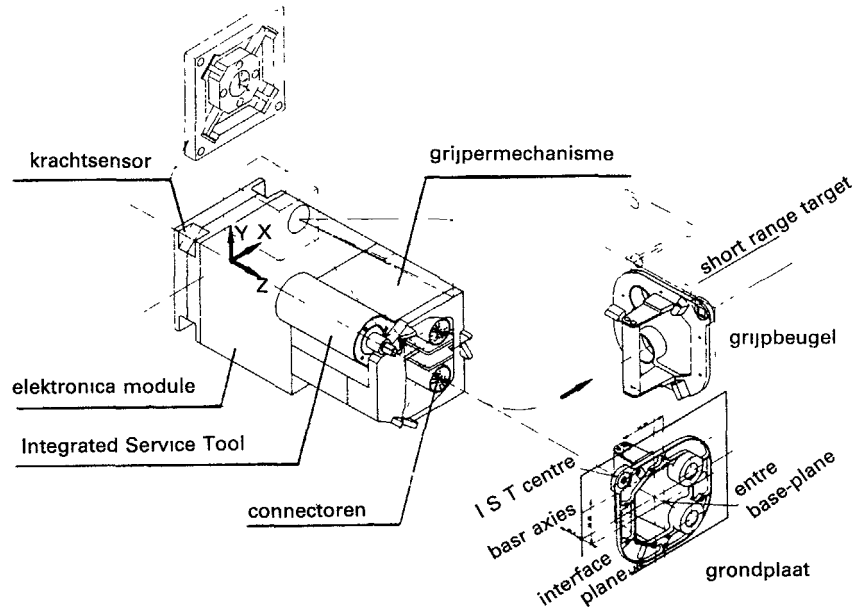
Figuur 4 toont in dwarsdoorsnede het voorlopige concept zoals uitgewerkt door Stork Product Engineering en Hamilton Standard Stork. Het concept is in principe voor elke actuator gelijk, behalve wat betreft de voortrap van de overbrenging, die aangepast wordt om het uitgangskoppel voor de schouder, elleboog en pols op de specifieke eisen af te stemmen.

### De Basic End Effector

Het interface van Hera met de "buitenwereld" wordt gevormd door een intelligent grijpermechanisme dat door Fokker ontworpen wordt als Europese standaard, de Basic End Effector (BEE). De BEE vervult een aantal elementaire functies van Hera, zoals grijpen en loslaten van een last, besturing en aandrijving van gereedschappen en communicatie met een gegrepen last.

Bovenop de BEE is een camera gemonteerd die voor de bestuurder de te grijpen beugel in beeld brengt: een aparte elektronica module in de Hermes cockpit interpreteert deze camerabeelden en berekent relatieve afstanden tot een eenvoudig visueel doel – een speciaal patroon van reflectoren – dat naast de grijpbeugel is aangebracht.

In figuur 5 zijn BEE, grijpbeugel en visueel doel weergegeven. Van de BEE zijn de afzonderlijke componenten te zien, van links naar rechts de krachtsensor, elektronica module, grijpermechanis-

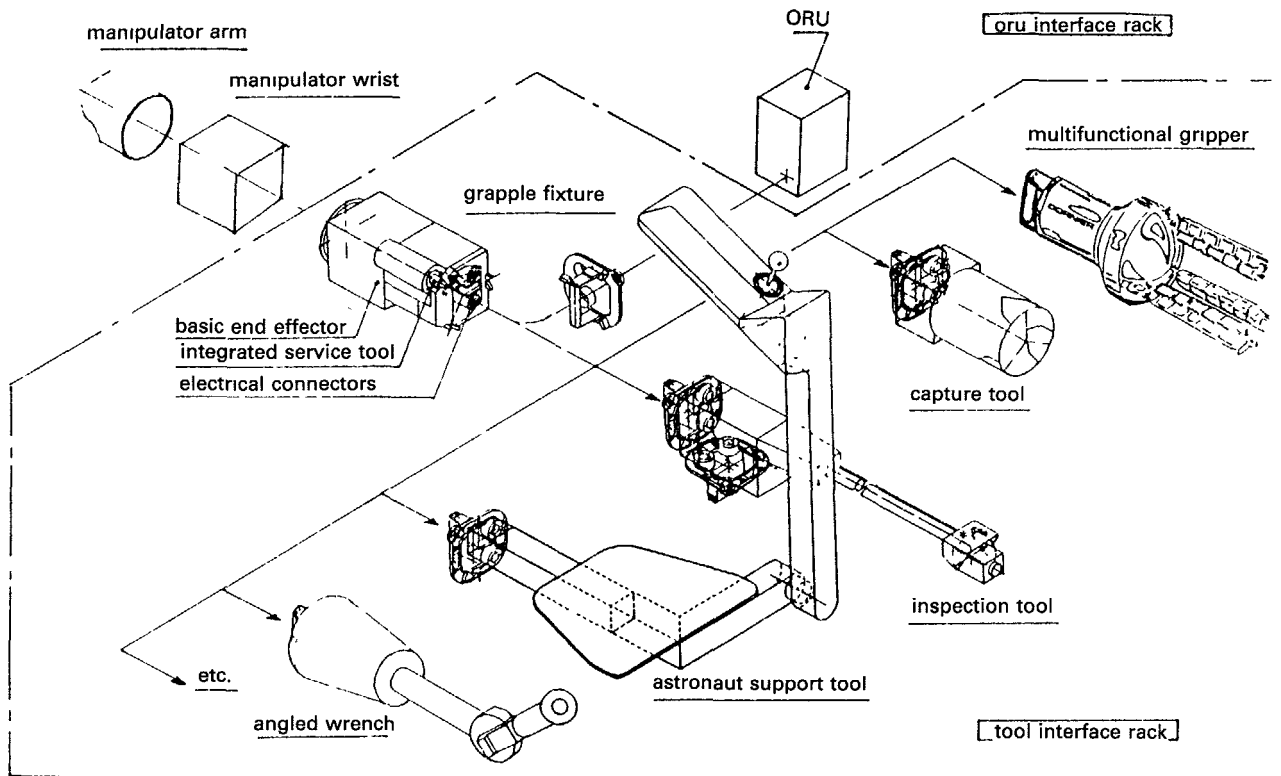


Figuur 5 Basic End Effector met standaard grijpbeugel

me met connectoren en een cilindrisch element voor mechanische aandrijving. De standaard grijpbeugel is op een grondplaat gemonteerd waarin de elektrische connectoren passen en de connector van de mechanische aandrijving. De BEE is 440 mm lang met een vierkante dwarsdoorsnede van 220 mm. Ook de grondplaat van de grijpbeugel is 220 mm vierkant.

De gereedschappen die tot de normale set van Hera gerekend mogen worden zijn:

- het Capture Tool voor hetvangen van vrijvliegende elementen, qua mechanisme vergelijkbaar met de BEE maar met een vergroot grijpbereik van 4 cm;
- De bijbehorende grijpbeugel is groter en zwaarder dan die van de BEE.



Figuur 6 Basic End Effector met gereedschappen

- Astronaut Support Tool, een voetsteun voor een astronaut zodat Hera als "hoogwerker" kan functioneren; Het kan met een mini-stuurpaneel worden uitgerust waarmee de astronaut op de voetsteun zijn eigen positie kan sturen.
- Inspection Tool, een uitschuifbare mast met een beweegbare camera aan het eind voor visuele inspectie van Hermes of MTF.

Figuur 6 toont de BEE met een volledige set van gereedschappen.

De Basic End Effector bestaat uit de volgende componenten.

- een grijpermechanisme afgestemd op de standaard grijpbeugel;
- elektrische connectoren met een apart aandrijfmechanisme;
- een mechanische connector met aparte aandrijving voor het leveren van mechanische energie (het zogenaamde Integrated Service Tool),
- een kracht/moment sensor,
- een elektronicamodule.

Het grijpermechanisme bestaat uit één

klauw die zich via een "over-centre"-mechanisme vastklemt om de grijpbeugel, waarbij het huis van de BEE steunt op de grondplaat van de beugel. Er is in het ontwerp vanuit gegaan dat de positionauwkeurigheid van de BEE ten opzichte van de te grijpen beugel 1 cm is, waardoor een compact ontwerp voor zowel de BEE als voor de standaard grijpbeugel gerealiseerd kan worden. Wel houdt dit in dat de BEE een extra gereedschap nodig heeft om vrijvliegende elementen te grijpen, daar in dat geval deze nauwkeurigheid niet gehaald kan worden. De grijpbeugel is zodanig vormgegeven dat ook een astronaut hem als handvat kan gebruiken. Voor de controle op de grijpoperatie zijn sensoren aangebracht om de aanwezigheid van de beugel in de grijpzone en de status van het vergrendelingsmechanisme te meten. De stijfheid van de BEE over het grijpermechanisme moet  $1,5 \cdot 10^5$  N/rad bedragen, om de gehele stijfheid van de arm niet negatief te beïnvloeden. De maximale belasting die de BEE over het koppelingsvlak moet kunnen verdragen is 500 N.m en 1000 N in alle richtingen.

Via redundante connectoren worden databus, videolijn en voedingslijnen van de arm doorverbonden met het aangekoppelde gereedschap of last. Hierdoor is het BEE concept zeer flexibel, daar zowel de BEE elektronica als de centrale besturingscomputer met elk aangekoppeld element kan communiceren. De connectoren zijn bevestigd op een "lift", die geactiveerd wordt na het grijpen van de beugel.

Voor gereedschappen die geen eigen besturingselektronica en motoren hebben, kan de BEE mechanische arbeid leveren door middel van de Integrated Service Tool, een ingebouwde "schroevendraaier". Via een vierkante samendrukbare koppeling, die bij verdraaien in een connector op de grondplaat van de grijpbeugel past, kan een gereedschap of een grendel voor een ORU worden aangedreven. De Integrated Service Tool levert een statisch koppel van 100 N.m en heeft onbelast een maximale rotatie-snelheid van 0,5 rad/sec. De samendrukbare koppeling kan positiefouten van 0,3 mm en een halve graad overbruggen.

## Philips gaat krachtigste magnetische materiaal ter wereld produceren

Onlangs heeft Philips een overeenkomst gesloten met het Japanse bedrijf Sumimoto aangaande de productie en marketing van magneten van een nieuw materiaal. Het gaat om het krachtigste permanent-magnetische materiaal – een combinatie van neodymium, ijzer en borium (NdFeB) – dat er tot op heden bekend is. De remanente bedraagt meer dan 1 tesla en het maximale BH-produkt meer dan  $200 \text{ kJ/m}^3$ . De marketing-activiteiten van het nieuwe materiaal zullen bij Philips plaatsvinden onder de naam Neodure.

Dank zij de goede magnetische eigenschappen zal het materiaal Neodure worden gebruikt voor magnetische onderdelen met een grotere sterkte of een

kleiner volume, met name voor toepassingen in de autobranche, consumentensector, professionele sfeer en communicatiewereld. Voorbeelden hiervan zijn kleine lichtgewicht-motoren (onder meer voor gebruik in auto's, batterij-apparatuur en consumentenproducten), remsystemen, meetapparatuur, schakelapparatuur en floppy disk drives. Reeds van Neodure verkrijgbaar zijn dunne ringen voor d.c.-motoren, waarvan Philips de eerste leverancier ter wereld is. Het nieuwe materiaal zal in diverse vormen geleverd worden, zoals blokken, ringen, segmenten, schijven, staven en cilinders.

Neodure vormt een belangrijke aanvulling op de bestaande, brede reeks produktmaterialen, die zich uitstrekt van Ferroxdure (een materiaal dat 35 jaar geleden door Philips is "ontdekt") tot zeldzame-aardmagneten op basis van samarium en kobalt. Laatstgenoemde magneten waren het krachtigste totdat Sumimoto NdFeB-magneten ontwikkelde en zullen een belangrijke rol blijven spelen in hogetemperatuurtoepassingen. Magneten van Neodure zijn goedkoper dan die van samarium/kobalt doordat de natuurlijke basismaterialen ervan vaker voorkomen.

Philips vervaardigt beide soorten materialen in de vestiging in Southport,

Engeland. De productie vindt plaats in een speciaal voor dit doel gebouwde vleugel, die met de modernste luchtbeheersingsinstallatie, stofarme apparatuur en in-line kwaliteitscontrole is uitgerust.

De applicatie-support, die reeds beschikbaar was voor de andere magnetische materialen, zal gericht zijn op het uitbuiten van de speciale voordelen en kenmerken van het nieuwe materiaal. Men is bezig met een R&D-programma dat specifiek ten doel heeft toekomstige verbeteringen te waarborgen. De uitvoering hiervan vindt plaats in samenwerking met het project EURAM (European Research on Advanced Materials). De doelstelling van dit project is deze technologie ten faveure van Europese geïntereerde firma's uit te werken.

Magneten van Neodure zijn reeds als monster verkrijgbaar. Er is inmiddels een scala van magneetsterkten beschikbaar. Dit geldt voor onder meer de materiaaltypen RES270, 300, 350, 255, 275, 305 (de eerste twee cijfers hebben betrekking op de  $(BH)^{\text{max}}$ -waarde, het laatste cijfer duidt op het temperatuurgebied: normaal of extra groot).

Voor nadere informatie: Philips Nederland, Marktgroep Elonco, Eindhoven, tel.: 040-782604.