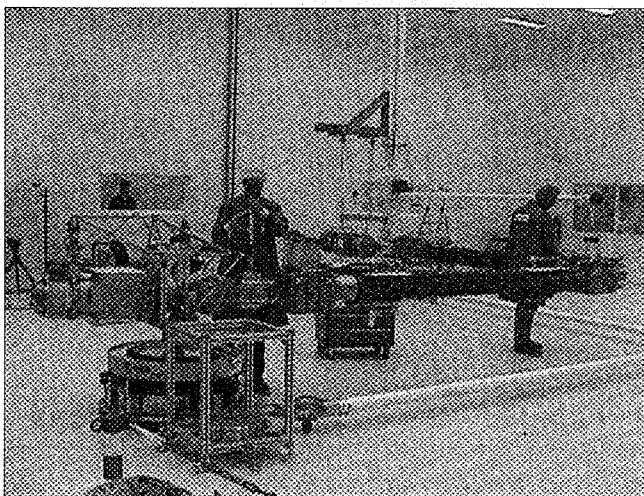


## Ruimterobots op aarde

# Ruimtevaartbedrijf speelt ontwikkeling van

**M**echatronische systemen zijn in opmars. Allerlei apparaten worden intelligent, van wasmachine tot automobiel. Industriële robots worden steeds vaker uitgerust met allerlei sensoren. Een nieuwe generatie van intelligente robot systemen vindt een toepassing in steeds meer sectoren: recente toepassingen zijn bijvoorbeeld te vinden in de microchirurgie, het huishouden, onderhoud en ontmanteling van kerncentrales, het positioneren van meetapparatuur, en in de off-shore. Wat systemen in al deze toepassingen gemeen hebben is dat ze opereren met een hoge mate van onafhankelijkheid en betrouwbaarheid. Het zijn complexe systemen, die naast moderne aandrijftechniek ook intelligente sensoren en regelaars omvatten, met prestaties die raken aan de grens van het mogelijke.

Fokker Space is een specialist in geavanceerde robotsystemen en mechatronica, en heeft in Europa een reputatie opgebouwd in de ruimtevaart. Verder bouwend op die ruimtevaartexpertise biedt Fokker Space nu ook oplossingen voor meer aardse problemen. Oplossingen waar niemand van kon dromen.



Na een korte inleiding over het grote ruimtevaart project European Robotic Arm gaat dit artikel in op recente "aardse" projecten: VLT, glazenwasrobot, zitmeetmat, dexterous gripper. Wat hebben deze projecten gemeenschappelijk, en waar zitten de verschillen? Hoe worden dergelijke projecten aangepakt, hoe houdt u de technische en financiële risico's in de tang en wat komt eruit? Waarom kan het aantrekkelijk zijn om prototype ontwikkeling uit te besteden?

### ERA

De European Robotic Arm (ERA) is een 11 meter lange ruimterobot, die op het Russische deel van het Internationale Ruimtestation de kosmonauten en astronauten zal assisteren bij assemblage en onderhoud. De arm wordt ontwikkeld in opdracht van de Europese ruimtevaart organisatie ESA, door een consortium van een tiental bedrijven uit zeven verschillende Europese landen, met daaronder weer een baaierd van toeleveranciers. Fokker Space is de hoofdaannemer van dit ambitieuze project; partners in Nederland zijn onder andere Stork Product Engineering en het Nationaal Lucht en Ruimtevaartlaboratorium NLR. Het project heeft een omvang van enkele honderden miljoenen gulden en een looptijd van meer dan tien jaar.

In de ruimte zal deze 600 kg lichte robot straks met gemak modules tot 8000 kg sjouwen, snelheden tot 20 cm/s halen, en op millimeters nauwkeurig werken. De programma's worden voorbereid op de grond, en uitgevoerd onder supervisie van de astronauten aan boord. Het liefst doen zij dat met behulp van een laptop computer en video monitors vanuit de relatieve veiligheid binnen in het ruimtestation, maar soms ook met behulp van een speciaal ruimtebestendig bedieningspaneel tijdens een ruimtewandeling.

Uiteindelijk wordt er slechts een enkel vluchtmodel van de arm gebouwd, dat medio volgend jaar in Rusland zal worden afgeleverd. De meeste kwalificatietests zijn nu met goed gevolg afgelegd. Diverse testmodellen zijn al goedgekeurd en in gebruik in

# sleutelrol in prototype- mechatronische systemen

Rusland, onder andere een onderwatermodel, waarmee de astronauten in een gigantisch zwembad kunnen oefenen op operaties in gewichtsloosheid.

Het omvangrijke project kende vele mechatronische ontwerpuitdagingen: de arm moet zeer autonoom kunnen werken, in een extreem vijandige omgeving een operationele levensduur van tenminste 12 jaar halen, na een willekeurige fout volledig operationeel blijven en na twee opeenvolgende fouten nog steeds volkomen veilig zijn voor de astronauten. Verder is de arm symmetrisch en kan met behulp van het grijpmechanisme aan iedere hand wandelen naar een andere werkplek op het ruimtestation.

Om nauwkeurig te kunnen positioneren is de robot uitgerust met een drietraps-regeling: In eerste instantie wordt de te plaatsen module grof voor het doel geïntegreerd met behulp van encoders in de robot gewrichten. Vervolgens wordt de module uitgelijnd aan de hand van een retroreflecterend referentiepunt en automatische beeldbewerkingssoftware in de centrale computer, en uiteindelijk wordt de doelpositie bereikt door een actieve krachtregeling op basis van een krachtsensor in de robotpols. In totaal 42 microprocessors zorgen ervoor dat dit snel maar toch veilig gebeurt.

## VLT

In opdracht van de Europese organisatie ESO wordt hoog in de Chileense Andes gewerkt aan een nieuwe telescoop. Deze Very Large Telescope (VLT) is samengesteld uit eerst 4 afzonderlijke telescopen. Later worden daar nog 4 kleinere hulptelescopen aan toegevoegd. Op verschillende manieren kunnen de astronomen het licht van de verschillende telescopen combineren tot waarne-

mingen met ongekennde nauwkeurigheid. Zo is een van de doelen het rechtstreeks waarnemen van planeten bij naburige sterren (tot nu toe is het bewijs voor het bestaan van planeten altijd indirect geweest).

Om de lichtbundels van de verschillende telescopen adequaat te combineren wordt iedere telescoop voorzien van een optische ver-

**Onze 'DURE SPECIALS'  
maken ùw product  
toch goedkoper!**



**Uw 'special'-ist in oplossingen met:**

- Magneetventielen
- (Mini-) Pneumatiek
- Elektromagneten
- Machinebeveiliging

**Stuifmeel Techniek...  
...Techniek met perspectief!**

**Stuifmeel Techniek bv**  
Postbus 448, 8200 AK Lelystad  
E-mail: info@stuifmeel.nl  
Telefoon (0320) 27 74 11  
Fax (0320) 26 06 88

www.stuifmeel.nl

VRB 0001

tragsingslijn. In een ondergronds gangenstelsel worden de lichtbundels met spiegels als het ware opgevouwen om de beoogde vertraging te bereiken. Sleutelonderdeel van iedere vertraging is een karretje dat een reflector (spiegel) over een slag van tientallen meters tot op enkele nanometers nauwkeurig in positie brengt en houdt. Dit karretje wordt ontwikkeld door een internationaal consortium van bedrijven onder leiding van Fokker Space.

Ondertussen is het eerste karretje geslaagd voor de acceptatietest en wordt het in Chili in zijn tunnel ingebouwd. Karretje nummer 2 en 3 zijn in aanbouw, terwijl de aanbesteding van nummer 4 wordt voorbereid. Het totale project heeft een omvang van meer dan tien miljoen gulden en een looptijd van enkele jaren.

Ook dit project kende vele mechatronische ontwerpuitdagingen. Veel hing samen met de extreme positioneer-nauwkeurigheid die het systeem moet halen. Door een uitgekiend ontwerp is Fokker Space er in geslaagd dit te realiseren met een cascade schakeling van slechts 2 regelcircuits. De basis wordt gevormd door een zeer stijve wagon, die op drie geslepen wielen over gepolijste rails wordt voortbewogen door een speciaal door Fokker Space voor deze toepassing ontwikkelde lineaire elektromotor. De gewenste combinatie van slaglengte, positioneer-nauwkeurigheid, lage massa, en lage warmteontwikkeling was eenvoudigweg niet te koop. De wagon zorgt voor een "grob" positionering tot op een micrometer nauwkeurig.

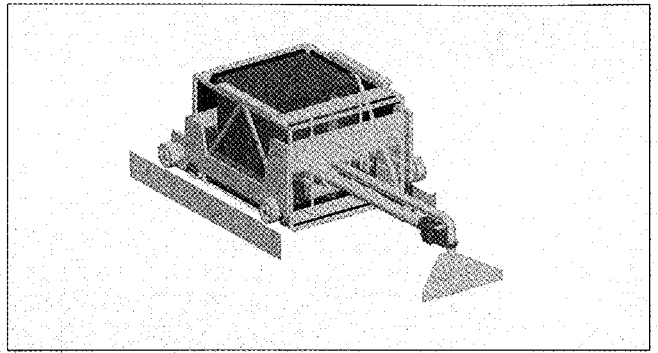
De tweede trap wordt gevormd door een minuscuul, maar uiterst nauwkeurig spiegel-tje in het hart van het optische pad. Voortbewogen door een piëzo-actuator en een geavanceerde positionering brengt de gecombineerde positioneer-nauwkeurigheid in het nanometergebied.

De kwalificatie van een dergelijk systeem is een uitdaging op zich. De versturende invloed van een heimachine werd creatief benut om aan te tonen dat het systeem robuust is tegen behoorlijke aardbevingen. 's Avonds na de normale werktijd, kon de air-conditioning uit, liepen er geen mensen meer door het gebouw en was er geen zwaar verkeer meer in de buurt. Toch deden zich nog laagfrequente storingen voor met een uitslag van micrometers. Pas toen deze storingen waren teruggeleid tot een effect van de branding op de kust bij Katwijk, dat zich via het grondwater laat gelden op ons op heipalen rustende technisch gebouw in Leiden,

### Glazenwasrobot

In opdracht van de Regionale Energie Maatschappij Utrecht (REMU) bouwt Fokker Space een speciale robot om moeilijk bereikbaar glas te kunnen bewassen. Het systeem moet werken in een kantoorruimte en daarbij geen spat- of drui-pwater genereren. Het systeem moet werken tot vele meters vanaf een balustrade. Projectomvang is in de orde van een miljoen gulden en de looptijd twee jaar.

Het ontwikkelde systeem bestaat uit een karretje, dat vrijwel autonoom over bestaande horizontale steunbalken kan rijden, en



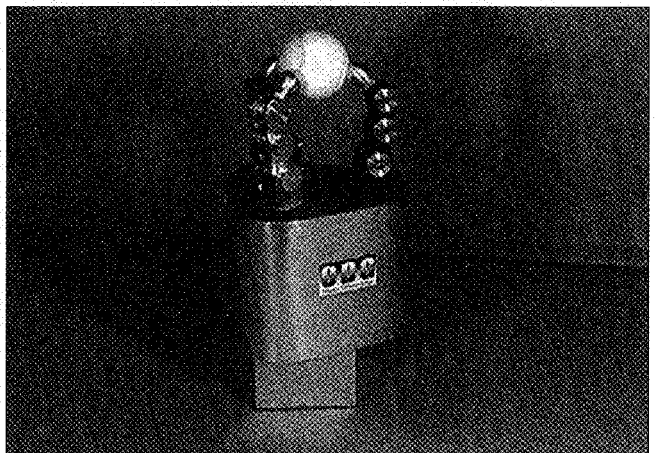
dat de ramen bewast met een speciale waskop en een aangepast stoomvacuüm wasproces. Het karretje wordt met een kraanwagentje vanaf de balustrade op de steunbalken geplaatst. Toegelaten belastingen op vloeren, ondersteuning en liften geven een drastische beperking aan de systeemmassa. Op dit moment worden karretje en kraan gerealiseerd en samengebouwd.

Het beheersen van kosten en doorlooptijd waren in dit project van groot belang. Een gefaseerde aanpak en regelmatig overleg met de klant houden de voortgang transparant en onder controle

### Zitmeetmat

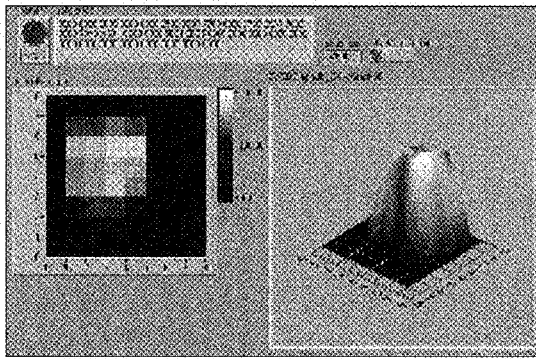
In opdracht van Ideon Twente ontwikkelt Fokker Space een meetmat waarmee onderzoek gedaan kan worden naar de krachten die optreden tijdens het zitten. De mat is gebaseerd op een door Fokker Space op eigen investering en in eerste instantie voor ruimtevaarttoepassingen ontwikkeld principe van resistief meten van contactkrachten. Projectomvang is in de orde van 100.000 gulden en de looptijd in de orde van een jaar.

Naast een beheersing van projectkosten en doorlooptijd speelden in dit project als sleuteleisen de geschiktheid voor serieproductie, flexibiliteit van de mat en nieuwe, compacte elektronica. In ruil voor een eigen investering in de doorontwikkeling van de basistechnologie blijft Fokker Space eigenaar van de technologie voor toepassingsgebieden buiten de directe opdracht.



### Dexterous Gripper

Op basis van marktverwachtingen zowel in de ruimtevaart als daarbuiten, ontwikkelt Fokker Space op eigen investering nieuwe robottechnologie op menselijke schaal. Een voorbeeld daarvan is



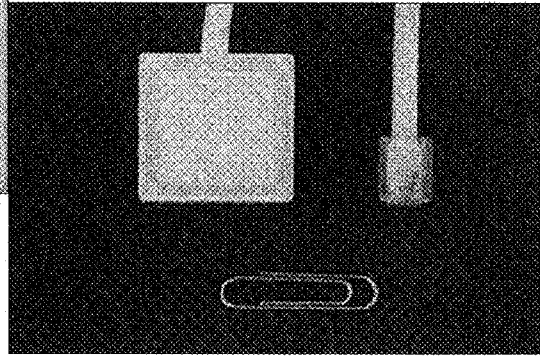
de Compact Dexterous Gripper. Het eerste prototype heeft drie vingers met ieder vier, afzonderlijk te besturen vrijheidsgraden. De vingers leveren een knijpkracht tot 50 N en kunnen samen een willekeurige voorwerp tot 200 mm groot grijpen. Een eenmaal gegrepen voorwerp kan nog in zes vrijheidsgraden beperkt bewogen worden. De gripper is bedoeld als onderdeel van een robot met mensachtige manipulatievaardigheden, bijvoorbeeld om een astronaut te vervangen tijdens routinematig onderhoudswerk op het internationale ruimtestation, maar zou evengoed een onderdeel kunnen worden van een appelpruikautomaat.

Het eerste prototype van de gripper is ontwikkeld in een groot-schalige samenwerking in een team met Fokker Space medewerkers, stagiaires en afstudeerders van o.a. TH Rijswijk, Tinbergen (nu Mondriaan geheten) en TU Delft. In een vervolproject zijn afstudeerders van de Haagse Hogeschool (MESO) en Hogeschool Groningen betrokken.

## Sleutels tot succes

Groot of klein, tien jaar of een half jaar doorlooptijd, er zijn diverse sleutelfactoren die het een ontwikkeling tot een succes maken:

- Overleg met de klant over de specificaties: wat zijn de hoofdeisen, wat is nice-to-have? Vaak moeten de eisen in de loop van het project worden aangepast aan de nieuwste inzichten bij de klant. Originele uitgangspunten en wijzigingen dienen goed te worden bijgehouden
- Gefaseerde projectaanpak: Of het project wordt aangenomen op basis van een harde prijsafspraken of dat er op basis van nacalculatie gewerkt wordt, faseren geeft zowel de opdrachtgever als de uitvoerder een handvat bij het beheersen van de kosten en voortgang.
- Budgetbeheer: Tijd, geld en techniek. Alle spelers in het project moeten regelmatig hun voortgang meten en afzetten tegen de oorspronkelijke planning. De factor tijd is medebepalend in technische ontwerpbeslissingen. Niet meten is niet weten. Maar dit geldt ook voor technische budgetten. In veel systemen speelt er beperking aan massa, stroomverbruik of rekentijd. Ook deze technische budgetten moeten worden gebudgetteerd en bewaakt.
- Onderbouwde keuzes: Alle belangrijke ontwerpbeslissingen worden vastgelegd met motivatie en alternatieven, juist ook als er bij gebrek aan tijd voor een uitgebreide analyse of simulatie wordt gekozen op basis van ervaring of "buik-gevoel". Dit maakt het eenvoudiger en sneller om terug te komen op een eerder genomen ontwerpbeslissing als nadere informatie



beschikbaar komt (back-tracking). En in ieder ontwikkelproject van enige omvang komt dit regelmatig voor.

- Bewaken van interfaces: zowel binnen het te ontwikkelen systeem als in de relatie met de buitenwereld moeten interfaces (in onderling overleg!) worden afgesproken en vastgelegd. Bij interne interfaces moet vooral gelet worden op een duidelijke scheiding van functies, zeker als de verschillende kanten van een interface door verschillende partijen. Externe interfaces zijn in grote mate bepalend voor de functionaliteit van een te ontwikkelen systeem. Niet goed vastleggen leidt vrijwel zeker tot acceptatieproblemen in een later stadium.
- Goede afspraken over de ontwikkellogica – hoeveel modellen van welk type worden wanneer verwacht?, hoe diepgaand moet er geanalyseerd en gesimuleerd worden voordat er een uiteindelijke versie van het systeem gebouwd kan worden? Hoe uitgebreid moet er worden getest?
- In een vroeg stadium goede afspraken maken over het intellectueel eigendom. Wie wordt de eigenaar van het apparaat en van de onderliggende technologie. Hoe gaat men om met eventuele patenten en draagt de daarmee verbonden kosten?
- Balanceren tussen bewezen oplossingen en wetenschappelijke doorbraken. Afhankelijk van projectomvang, doorlooptijd en de sleuteleisen van de klant zal deze balans anders uitvallen. Puur vertrouwen op traditionele engineering levert over het algemeen een robuust, maar lomp en traag systeem. Maar teveel vertrouwen op vernieuwing leidt uiteindelijk tot tegenvallende prestaties of waanzinnige overschrijdingen van kosten of doorlooptijd.
- Zoeken naar toepassingen waarin ruimtevaart en aardse toepassingen elkaar kunnen versterken. Geavanceerde mechatronische systemen zijn daarbij een speerpunt

## Conclusie

Van heel groot tot relatief klein: ontwikkelprojecten volgen in grote lijnen de zelfde patronen. Methoden en technieken die oorspronkelijk zijn ontwikkeld voor het managen van grote en complexe ontwikkelprojecten in de ruimtevaart kunnen met succes worden toegepast op ontwikkelingen daarbuiten. Uitbesteding van prototypeontwikkeling kan interessant zijn bij een chronisch onderbezette ontwikkelafdeling of bij projecten met een complexiteit die een in-house ontwikkeling overstijgen.