



## STUITEREN OP DE ATMOSFEER VAN DE AARDE

# In drie uur om de wereld

MET DE SPACELINER IS HET MOGELIJK OM IN ANDERHALF UUR NAAR DE ANDERE KANT VAN DE WERELD TE VLIEGEN. EEN RAKET LANCEERT HET TOESTEL, DAT VERVOLGENS OP DE DAMPKRING DOOR DE RUIMTE STUITERT. KOELING IS HET GROOTSTE PROBLEEM. 'DE HITTEBESTENDIGE, KERAMISCHE TEGELTJES VAN DE SPACESHUTTLE ZIJN VOOR DE SPACELINER GEEN OPTIE.'

TOEN DE CONCORDE OP 24 OKTOBER 2003 zijn laatste vlucht maakte, kwam er tevens een eind aan de enige mogelijkheid om te reizen met een snelheid groter dan die van het geluid (supersoon). Als het aan het Duitse ruimtevaartcentrum DLR ligt, komt hier over een jaar of twintig verandering in. Met de Spaceliner is het mogelijk om zowel met hypersonische snelheid (tot mach 20) als 'goedkoop' door de ruimte te reizen. Net als de spaceshuttle wordt het toestel gelanceerd met een raket om vervolgens los te koppelen

en op eigen kracht de dampkring te verlaten. Door onder de juiste hoek naar beneden te duiken ketst het ruimtevliegtuig af op de dampkring om vervolgens al stuitend zijn bestemming aan de andere kant van de aardbol te bereiken. Het DLR claimt dat het op deze manier mogelijk is om in anderhalf uur van Europa naar Australië te vliegen. De kosten voor een enkeltje ruimtestuiteren bedragen volgens een eerste ruwe schatting zo'n 150 000 euro.

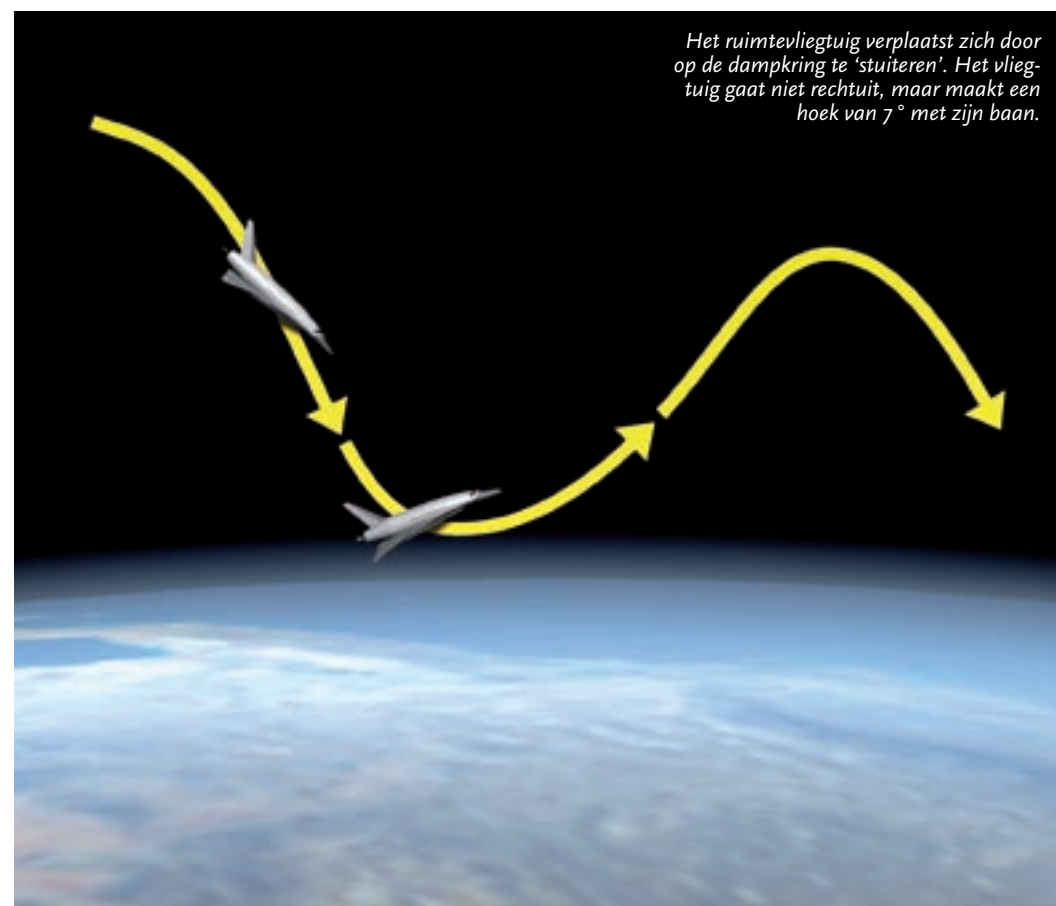
'Het lijkt op het keilen van platte steentjes over het water'

### INVALSHOEK

Er is nog een ander, niet eerder toegepast traject om met behulp van een raketmotor te vliegen: een *skip trajectory*. Hierbij legt het toestel geen baan af in de vorm van een brede parabool, maar in de vorm van aaneengeslo-

ten op- en neergaande bewegingen met afnemende amplitude. 'Het voertuig stuitert als het ware over de atmosfeer van de aarde.'

De afstand die de Spaceliner kan afleggen, is afhankelijk van de beginsnelheid waarmee hij begint te stuiten. Om een traject van 16 000 km te vliegen brengt een raket de Spaceliner eerst op een hoogte van zo'n 70 km. Daarna stoot het toestel de uitgebrande raket af en klimt zelf verder tot een hoogte van 100 km. Wanneer alle brandstof op is, valt het toestel via een kogelbaantraject richting aarde. Door de invalshoek (de hoek tussen het toestel en de toestromende lucht) tijdens deze duik op 7° te houden schiet de



Het ruimtevliegtuig verplaatst zich door op de dampkring te 'stuiten'. Het vliegtuig gaat niet rechthoekig, maar maakt een hoek van 7° met zijn baan.

ILLUSTRATIE: PHILIP VAN DER WOUDE



Een artist's impression van de Spaceliner.

### PARABOOL

Ir. Arnold van Foreest onderzocht bij het DLR of het gebruik van een raketmotor interessant is voor passagiersvervoer en rondde hiermee zijn opleiding Lucht- en Ruimtevaarttechniek aan de TU Delft af. 'De meest voor de hand liggende manier om met een raket te reizen is door een paraboolvormig traject af te leggen', stelt Van Foreest. 'Door het toestel onder de juiste hoek weg te schieten valt het na het passeren van het hoogste punt weer naar beneden om te landen op de plaats van bestemming. Om aan de andere kant van de wereld uit te komen moet het projectiel echter wel zeer hoog komen. Door de hoge snelheid is het niet mogelijk om met een ge-

Spaceliner niet door de dampkring heen. Het toestel ketst door de toenemende luchtdichtheid op de atmosfeer af en herhaalt vervolgens dit traject. 'Het lijkt een beetje op het keilen van platte steentjes over het water', zegt Van Foreest. 'Hierbij is de aerodynamische vorm van de steen en de hoek waarmee hij op het wateroppervlak ketst, ook van cruciaal belang.'

De nieuwe manier van reizen slaat volgens de jonge onderzoeker drie vliegen in een klap: 'De passagier ervaart hoe het is om te vliegen met mach 20, hij is binnen anderhalf uur aan de andere kant van de wereld, en hij is in de ruimte geweest. Reizen met de Concorde was weliswaar stukken goedkoper, maar met een

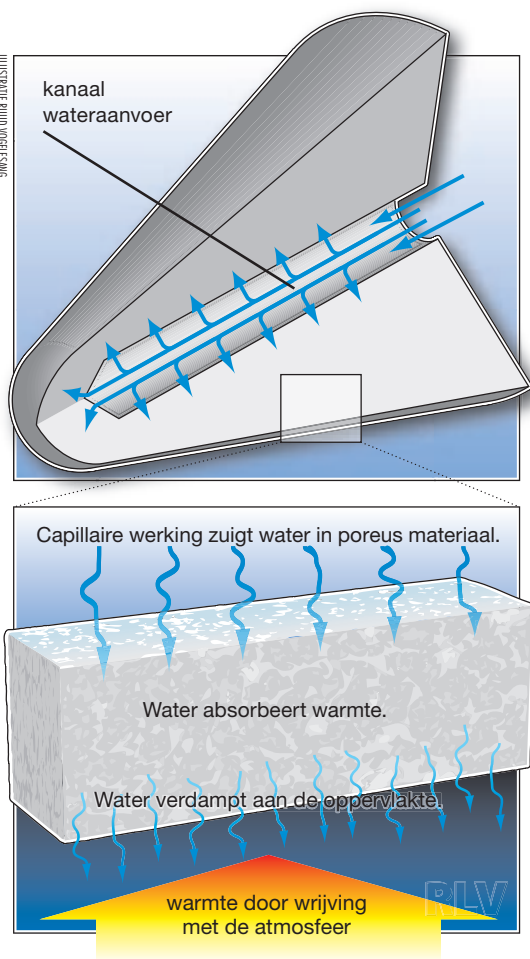
snelheid van mach 2 ook tien keer zo langzaam. En de ruimtereizen die momenteel voor 200 000 dollar en meer worden aangeboden, brengen een reiziger niet naar een andere plaats.'

De passagiers zijn bij het reizen met de Spaceliner een groot deel van de tijd gewichtloos. Alleen bij het afketsen op de dampkring is er telkens een overgang van 0 naar 1,5 G. Deze overgangen zijn natuurlijk een belangrijk onderdeel van de ruimtereiservaring, maar is iedereen hier wel tegen bestand? 'We moeten daar nog meer onderzoek naar doen, maar we vermoeden dat de meeste reizigers er nauwelijks last van zullen hebben', zegt Van Foreest. 'We zorgen ervoor dat de G-krachten

nooit boven 1,5 G komen. De totale overgang van 0 naar 1,5 G en weer terug duurt ongeveer 400 s. Dit is behoorlijk geleidelijk en daardoor waarschijnlijk goed te weerstaan.'

Het grootste technische probleem voor de Spaceliner is de hitte die ontstaat bij het stuiten op de dampkring. 'Bij de spaceshuttle is dit opgelost door het oppervlak te bedekken met hittebestendige, keramische tegeltjes', zegt Van Foreest. 'Voor de Spaceliner is dit echter geen optie. De temperatuur loopt bij de eerste stuiters tot bijna 3000 K, hier zijn keramische tegeltjes of andere hittebestendige materialen niet meer tegen bestand.'

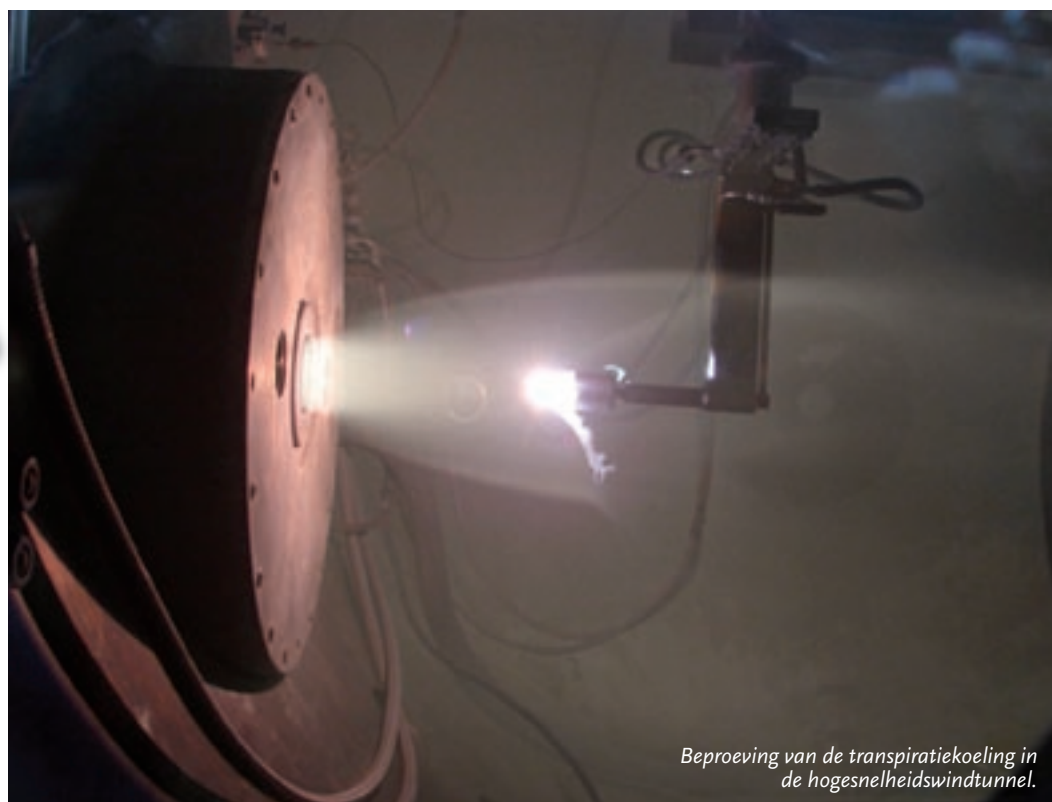
Om dit probleem op te lossen verzon Van Foreest als afstudeeropdracht een slim koel-



De koeling van de Spaceliner werkt met verdamping van water aan het oppervlak.

system. 'Het leek mij een goed idee om te koelen met een vloeistof, en aangezien water de hoogste verdampingsenergie heeft was mijn keuze snel gemaakt. De grote truc is dat het water zo veel mogelijk warmte moet absorberen voordat het verdampt', geeft Van Foreest aan. Om dit voor elkaar te krijgen maakt hij op de warmtekritische plaatsen van de Spaceliner gebruik van poreuze materialen. 'De capillaire werking van deze materialen zuigt water op. Het water absorbeert de warmte, en wanneer het aan de oppervlakte van het toestel komt, verdampt het. De verdamping zorgt voor een zuigende werking die de aanvoer van het water automatisch reguleert.' Deze koelmethode heet vanwege het zweetende materiaal transpiratiekoeling. 'Het enige nadeel is dat de Spaceliner het benodigde water mee de ruimte in moet nemen.' Door het water dat verdampt, ontstaat tevens een thermisch blokkerende koelingslaag die als een soort warmteschild fungeert.

Om zijn concept te bewijzen deed Van Foreest proeven in een windtunnel. Hij liet hiervoor op schaal drie verschillende neuskegels voor de Spaceliner maken: een stompe, een puntige en een tussenvorm. 'Het poreuze materiaal van deze kegels bestaat voor 91 % uit aluminiumoxide en voor 9 % uit siliciumoxide. Dit materiaal is te slap om te gebruiken voor de echte Spaceliner, maar het voldoet pri-



Beproeving van de transpiratiekoeling in de hogesnelheidswindtunnel.

ma om het principe van transpiratiekoeling met water aan te tonen.' Het materiaal kan zonder koeling een piektemperatuur van 1700 °C weerstaan.

In de hogesnelheidswindtunnel werden de omstandigheden gesimuleerd van stuiteren onder lage druk, omdat zo hoge wrijvings-temperaturen gemakkelijker zijn te realiseren. Ter vergelijking koelde Van Foreest ook met stikstof. De verschillen tussen de twee koelmedia bleken enorm. 'Bij koeling met 0,2 gram water per seconde daalde de temperatuur van 2000 K tot beneden 500 K, terwijl er bij koeling met 0,2 g/s aan stikstof nauwelijks een temperatuurverschil was te meten. Bij een stikstofaanvoer van 1 g/s daalde de temperatuur in de neus van 2000 K naar 1500 K.' Water blijkt, zoals de theorie voorspelde, inderdaad een goed medium te zijn voor transpiratiekoeling. De methode bleek het beste te werken bij de stompe neuskegel; de scherpe neus warmde het meeste op.

#### DRAAGVLAK

Met een ticketprijs van 150 000 euro voor een enkeltje ruimtestuiteren zal de gemiddelde vakantieganger niet staan te dringen voor een kaartje. Toch gaat DLR ervan uit dat er voldoende draagvlak is voor de Spaceliner. 'Aangezien elke dag honderdduizenden mensen een vliegreis maken, is het niet onaanvaardbaar dat er een markt is voor een exclusievere vlucht zoals wij met de Spaceliner willen aanbieden', zegt Martin Sippel van het DLR. 'Het Britse Virgin biedt particulieren ruimtevliegreizen aan voor 200 000 dollar. Voor dat geld gaan ze alleen recht om-

hoog tot een hoogte van 100 km om vervolgens weer terug naar de aarde te vallen. Met de Spaceliner blijven ze langer in de ruimte en komen ze aan op een bestemming; de reis is dus ook functioneel.'

Om ruimtereizen te commercialiseren is het volgens het DLR wel noodzaak om toestellen in serie te produceren. 'Als we de bouw van de Spaceliner net zo groots aanpakken als de productie van een lijnvlucht, zal het ruimtereizen vergeleken met de huidige prijzen relatief goedkoop worden.' Sippel is duidelijk optimistisch over de toekomst van de Spaceliner. 'In het begin willen we veertien lanceringen per dag uitvoeren. Dit zijn er op jaarbasis 5110, waarbij we in totaal 255 000 personen kunnen vervoeren.' Volgens is het de bedoeling het aantal toestellen

*'De Spaceliner kan over ongeveer twintig jaar vliegen'*

uit te breiden. 'Het moet mogelijk zijn om er 34 per jaar te bouwen, dat is vergelijkbaar met de productie van de Boeing 707.'

Voorlopig is de Spaceliner, helaas voor het DLR, nog toekomstmuziek. Verder onderzoek is nodig, waarbij het Duitse ruimtevaartcentrum van plan is samen te werken met onder meer de TU Delft. Voor de financiering dient het DLR een voorstel in bij de Europese Unie. Ondanks de lange weg die nog is te gaan, ziet ook Van Foreest de toekomst positief in. 'Als het project voldoende steun krijgt, kan de Spaceliner over ongeveer twintig jaar vliegen', voorspelt hij. ●