

ROCKET SCIENCE VOOR GEVORDERDEN

ONVERSTOORBAAR VERDER SLEUTELN AAN DE PERFECTE RAKET

Sinds het begin van het ruimtevaarttijdperk is bijna 10 procent van alle raketlanceringen fout gegaan. Elke mislukking betekent niet alleen een financiële aderlating, maar ook oponthoud voor het betreffende programma. Wat maakt het zo moeilijk om een raket de ruimte in te krijgen? En hoe vergroot je de kans op succes?

TEKST: SANDER KOENEN

Dinsdag 28 oktober 2014. Nagelbijtende vluchtleaders op de lanceerbasis Wallops Spaceport in de Amerikaanse staat Virginia. Gaat de derde Cygnus-capsule, met aan boord vracht voor het internationale ruimtestation, een bijna foutloze missie vliegen, net als zijn twee voorgangers? Stelt de Antares-raket na vier succesvolle lanceringen ook dit keer niet teleur? De commentator telt af bij de live-stream die overal ter wereld door ruimtevaartfans en de media wordt gevolgd. Vijf vier, drie, twee, één...

Exact vijftien seconden duurt de lanceerroes voor de vluchtleaders van het bedrijf Orbital Sciences Corporation. Daarna zien ze hun raket in een dramatische explosie verdwijnen. De schade: bijna 200 miljoen euro voor de raket en de vrachtcapsule en nog eens 15 miljoen euro aan het lanceerplatform. De cijfers liegen er niet om. In 2014 mislukten vier van de 92 lanceringen. Behalve de Antares ging het om twee Proton-raketten en een Sojoez die satellieten van het Europese navigatiesysteem Galileo naar de ruimte moest brengen. En dan was 2014 statistisch gezien nog een goed jaar voor de lanceerbusiness. Tussen 4 oktober 1957 (de eerste Spoenik) en 31 december 2014 waren er in totaal 5438 pogingen om een raket de ruimte in te schieten. Daarvan ging het 457 keer mis; een faalpercentage van 8,4 procent. Blijkbaar valt het helemaal niet mee om een raket te lanceren. Maar hoe komt dat?

Een enorme bom

Allereerst is er de derde wet van Newton: actie is reactie. Ga met een brandslang in je handen op een bureaustoel zitten en zet de kraan open. Het water gaat de ene kant op, en jij precies de andere. Op dezelfde manier duwen uitlaatgassen een raket omhoog. Hoe snel die raket gaat en hoe hoog hij komt, heeft dan weer te maken met de eerste wet van Newton:

$F = m \cdot a$. Een voorwerp met massa (m) waarop een kracht wordt uitgeoefend (F) ondergaat een versnelling (a).

Tot zover is raketwetenschap best te begrijpen. Het wordt pas moeilijk als je gaat opschalen. Om een satelliet van 10.000 kilo in een baan rond de aarde te brengen, moet je al die kilo's versnellen tot minimaal 28.000 kilometer per uur. Elke kilo die je wilt lanceren, kost brandstof. Maar brandstof weegt zelf ook het een en ander, dus om brandstof te lanceren heb je meer brandstof nodig, en ga zo maar door. Voor je het weet ligt op de tekentafel een raket die voor 1 procent bestaat uit de nuttige lading (een satelliet bijvoorbeeld), voor 9 procent uit metaal, leidingwerk, brandstoftanks en bekabeling (de raket zelf dus) en voor maar liefst 90 procent uit brandstof en oxidator (zie 'Levensgevaarlijke vuurpijlen' op pagina 74). Omdat hij zo'n cruciale rol in het geheel speelt, verdient de voortstuwing van een raket hier wat meer aandacht. Er zijn grofweg drie types: vast, vloeibaar en de tussenvorm hybride. De eenvoudigste variant is de vastbrandstofraket, die werkt als een vuurpijl. Een voorbeeld zijn de *solid rocket boosters* van de spaceshuttle. Elk van die boosters produceerde twee minuten lang 12,5 miljoen newton aan stuwkracht, waarbij 1 newton de kracht is die 1 kilo een versnelling van 1 m/s² geeft. (De snelheid neemt per seconde met 1 meter per seconde toe.) Dat was genoeg om de spaceshuttle naar een hoogte van 43 kilometer te brengen.

Maar vaste brandstof heeft een paar forse nadelen: je kunt de motor niet uit- en weer aanzetten, het is gevaarlijk spul om in grote hoeveelheden te produceren, en bovendien niet efficiënt genoeg om er zware lading mee in een baan rond de aarde te brengen. Daarom worden vastbrandstofraketten meestal als 'hulpraketten' gebruikt voor het eerste deel van de vlucht.

Zes jaar nadat de spaceshuttle met pensioen ging, is er voor de VS eindelijk weer bemande lanceercapaciteit in zicht. Het Space Launch System moet mensen naar de maan, asteroiden en Mars gaan brengen.

NASA

Het tweede type – een raket met een volledig vloeibare voortstuwing – zit een stuk complexer in elkaar. Toch is alleen zo'n soort raket in staat om zware lasten naar de ruimte te brengen. Vloeibare brandstof heeft een hogere specifieke impuls dan vaste brandstof. Hoe hoger de specifieke impuls (een getal dat de snelheid van de uitgestoten massa aangeeft in meters per seconde), hoe efficiënter de raket. Verschillende brandstoffen en oxidatoren zijn mogelijk, maar de combinatie waterstof en zuurstof heeft de allerhoogste specifieke impuls. Los van elkaar zijn deze stoffen volstrekt ongevaarlijk. Maar samen vormen ze een hoogst explosief mengsel. Met honderdduizenden kilo's vloeibare waterstof en vloeibare zuurstof aan boord is een raket dus een enorme bom die minutenlang gecontroleerd moet ontploffen.

De hybride voortstuwing – het derde type – combineert de eenvoud van een vastbrandstofraket met de flexibiliteit van een raket die vloeibare brandstof gebruikt. Brandstof en oxidator zijn in de raket van elkaar gescheiden. Door kleppen te openen en te sluiten, kun je de motor uit- en weer aanzetten. Het commerciële ruimtevaartuig SpaceShipTwo van Virgin Galactic heeft bijvoorbeeld een hybride motor. En dat geldt ook voor de Stratos II, een raket die is gebouwd door studenten van de TU Delft, verenigd in Delft Aerospace Rocket Engineering (DARE).

5 procent onzekerheid

Dat ook het lanceren van een hybride raket helemaal fout kan lopen, ondervonden de leden van DARE. Hun Stratos II vliegt op een brandstofmix van aluminiumpoeder, paraffine (kaarsvet) en sorbitol (koffiezoetjes) en heeft distikstofoxide (lachgas) als oxidator. De Stratos II moest in de zomer van 2014 met drie keer de geluidssnelheid naar 50 kilometer hoogte vliegen, maar kwam geen centimeter van de grond.

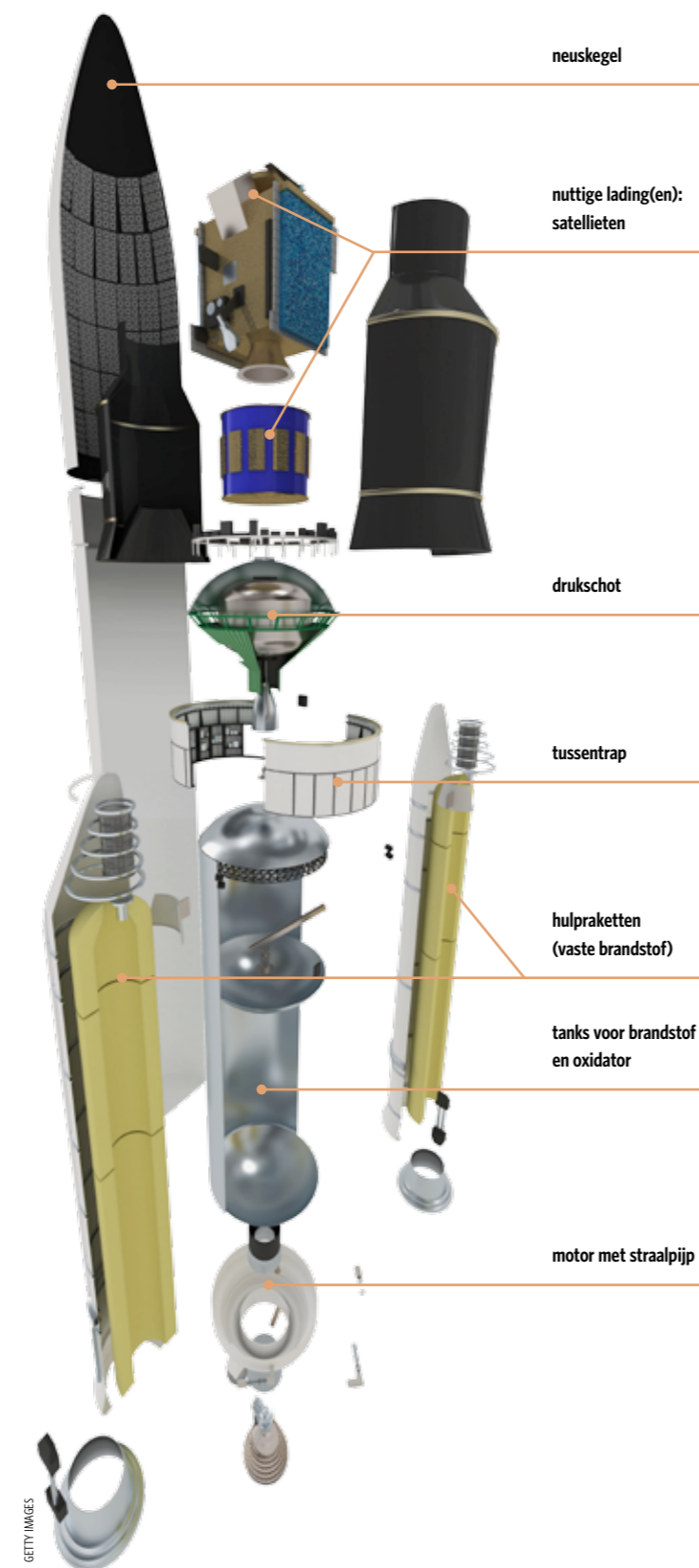
GETRAPT NAAR DE RUIMTE

De Amerikaan Robert Goddard deed al in 1912 experimenten met raketten die vloeibare brandstof gebruikten. Dankzij drie verbeteringen die hij doorvoerde, veranderde de raketwetenschap ingrijpend.

- 1) Door meerdere kleine motoren te gebruiken, in plaats van één grote, is de stuwkracht van een raket aanzienlijk te vergroten. De raket bereikt een grotere hoogte, zonder dat hij slechter bestuurbaar wordt.
- 2) Introductie van de Lavalstraalpijp. Uitlaatgassen bereiken in het smalste deel van deze straalpijp de geluidssnelheid, maar krijgen daarna de ruimte. Hierdoor daalt de druk, zetten de gassen uit en neemt de snelheid toe.
- 3) Misschien wel de belangrijkste stap voorwaarts: trappen. Je bouwt niet één grote raket, maar zet er een paar op elkaar. Zodra de eerste rakettrap is opgebrand, wordt hij afgestoten. De tweede slaat aan en hoeft veel minder massa naar boven te duwen, waardoor de snelheid toeneemt. Vervolgens herhaalt de derde trap deze truc.

ARIANE 5

In afwachting van Ariane 6, die nog in ontwikkeling is, lanceert de Europese ruimtevaartorganisatie ESA zijn satellieten met de circa 50 meter hoge Ariane 5-raket. Die ziet zo in elkaar:



Na de dodelijke crash van SpaceShipTwo wezen veel mensen meteen naar de hybridemotor. Later bleek het veermechanisme van de vleugels de boosdoer

“Er zat een lek in het systeem, waardoor de klep van het lachgas was vastgevroren”, zegt Rob Hermsen, toenmalig teamleider en raketwetenschapper in opleiding. Deze zomer doet het team een nieuwe poging met een verbeterd ontwerp. Een raket functioneert zelden meteen helemaal goed. Dat weten ze ook bij Arianespace, dat voor de Europese ruimtevaartorganisatie ESA de tweetrapsraket Ariane 5 bouwt. Jean-Michel Desobeaux is vice-president kwaliteit bij het bedrijf. Hij zegt: “Het ontwerp van een raket valt voor 95 procent terug te voeren op de natuurwetten en wiskundige formules die je kunt modelleren met computers. Maar voor die laatste 5 procent schieten computermodellen tekort en weten we dus niet precies wat de consequenties zijn van bepaalde ontwerpkeuzes. Dat betekent testen, testen en nog eens testen. We testen heel wat motoren en systemen die nooit zullen vliegen om de raketten die we wél lanceren veiliger te maken.”

Als het toch misgaat met een raket, ligt dat in ruime helft van alle gevallen aan een fout in de voortstuwing. Dit complexe systeem van turbopompen, reactiemotoren en straalpijpen zorgt ervoor dat de uitlaatgassen versnellen tot vele duizenden kilometers per uur. “Het voortstuwingssysteem is het zwaarste en grootste subsysteem van een raket. En het kost het meest om te ontwikkelen”, zegt raketgeleerde Barry Zandbergen van de TU Delft.

Bij de genoemde Antares-lancering van vorig jaar oktober faalde de voortstuwing. De twee AJ-26-hoofdmotoren van deze raket zijn gereviseerde NK-33-motoren die al in 1967 werden gebouwd voor de Russische maanraket N-1. Op papier gelden ze als de meest efficiënte motoren ter wereld. Maar in de

praktijk blijken ze instabieler dan de rest, omdat ze uitlaatgassen van de turbopompaandrijving hergebruiken in de algemene voortstuwing. Twee keer eerder liet een AJ-26 het bij een test afweten. En nu

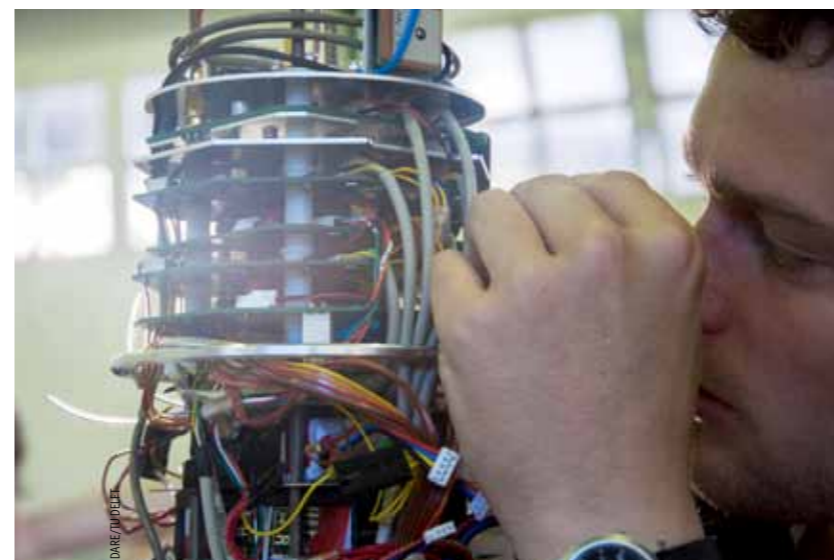
07_Streamers_Art

gebeurde dat tijdens de vlucht. David Thompson, uitvoerend directeur van Orbital Sciences, maakte kort na de mislukte lancering bekend dat hij voor de Antares een ander type motor wil.

Bagage zoek

Arianespace gaat nog een stap verder en ontwikkelt de komende jaren een compleet nieuwe raket. De Ariane 6 wordt per vlucht aanzienlijk goedkoper dan de 150 miljoen euro die een lancering met de Ariane 5 kost. Bovendien kan de nieuwe derde rakettrap twee satellieten in twee verschillende banen brengen. Dat is efficiënter en drukt de kosten.

In de ontwerpfasen profiteert Arianespace van de ervaring met de vijf eerdere Ariane-raketten. Maar een goed ontwerp garandeert nog geen succes. Ook fouten in de productiefase kunnen een mislukte lancering opleveren. Dat gebeurde bij de Progress M12-M-raket die op 24 augustus 2011 naar het ISS vertrok met aan boord bagage van de Nederlandse astronaut André Kuipers. De brandstoftoevoer in de derde rakettrap was geblokkeerd, waardoor de boordcomputer een



Een student van de TU Delft werkt aan de elektronica van de raket Stratos II. De vluchtelektronica is, naast de motor, het ingewikkeldste onderdeel van een raket.



Team DARE probeerde in de zomer van 2014 de raket Stratos II te lanceren naar 50 kilometer hoogte, maar die kwam niet van de grond. Dit jaar onderneemt het team een nieuwe poging.



De Antares raket van Orbital Sciences Corporation vlak voordat hij in een enorme vuurbal uit elkaar spatte. Aan boord was het Cygnus vrachtschip met voorraden voor de bemanning van het internationale ruimtestation ISS.

LEVENSGEVAARLIJKE VUURPIJLEN

Even een hardnekkig misverstand uit de wereld helpen. Raketten vliegen niet alleen op brandstof, maar op een combinatie van brandstof en een oxidator: de zuurstof die je nodig hebt voor een goede verbranding. Samen worden ze stuwstof genoemd, vanwege de voorstuwning die ze veroorzaken. Vergelijk het met een auto, die ook geen centimeter vooruitkomt op alleen benzine. Een carburateur combineert de benzine met lucht. Dit mengsel ontbrandt in de motor dankzij de aanwezige zuurstof (de oxidator). In de ruimte is er niets dat als oxidator kan dienen, dus neemt een raket zijn eigen voorraad mee. Bij vastebrandstofraketten zit de oxidator ingebakken in de brandstof. Dat maakt deze vuurpijlen zo levensgevaarlijk. In 2003 ontplofte een vastebrandstofraket van de Braziliaanse ruimtevaartorganisatie AEB op het lanceerplatform toen een van de motoren per ongeluk aansloeg. Alle 21 mensen die op dat op het platform aanwezig waren, kwamen om het leven. Ook het ongeluk met de spaceshuttle *Challenger* in 1986 werd veroorzaakt door een vastebrandstofraket. Een afsluitring functioneerde niet goed, waardoor het ruimtevaartuig ontplofte en zeven astronauten omkwamen. In een raket die vloeibare brandstof gebruikt, zijn de brandstof en de oxidator van elkaar gescheiden, wat de kans op ongelukken kleiner maakt. Toch gaat het zelfs met deze raketten regelmatig mis. Zo werden in 1980 bij een ongeluk met het tanken van een Vostok-2M op de Russische lanceerbasis Plesetsk 48 mensen gedood.



In de jaren zestig was de NK-33 de meest geavanceerde raketmotor ooit. Orbital bouwde de motor om en gaf hem een nieuw typenummer (AJ-26-b), maar na de mislukte lancering van Antares in 2014 gaat het bedrijf op zoek naar een vervanger.

dalende druk registreerde en hij de motor te vroeg uitschakelde. De complete Russische rakettenfamilie werd vervolgens aan de grond gehouden, inclusief de Sojoez waarmee Kuipers gelanceerd zou worden – totdat duidelijk werd dat de fout niet in het ontwerp zat, maar tijdens het productieproces was gemaakt. Desobeau: “Ook al is het raketontwerp perfect, je moet heel goed opletten dat er geen afwijkingen in het productieproces sluipen. Mensen die op basis van onderling vertrouwen samenwerken, moeten elkaar aanspreken als er iets misgaat, tot op het meest pietluttige niveau.”

Nooit opscheppen

Hoe wrang het ook mag klinken: elke mislukte lancering – of die nu door een onjuist ontwerp of productiefouten is veroorzaakt – kan worden beschouwd als een test die tot veiligere raketten voor de toekomst leidt. Dat zie je terug in de statistieken. De R-7 is de voorloper van de Russische Sojoez-raket waarmee Kuipers naar het internationale ruimtestation vloog. Dit model werd 27 keer gelanceerd, waarvan achttien keer succesvol; een slagingspercentage van 66 procent. Zijn opvolger, de Sojoez-U, is inmiddels de meest succesvolle raket ter wereld. Met 708 geslaagde lanceringen op een totaal van 727 is zijn slagingspercentage 97,39 procent. Van de westerse raketten doet de Ariane 5 het bijzonder goed. Na vier mislukkingen in de eerste zes jaar heeft de raket nu 63 lanceringen op rij foutloos gepresteerd.

Desobeau is blij met deze cijfers, maar vindt dat je als raketwetenschapper altijd bescheiden moet blijven: “We manipuleren zoveel energie dat zelfs de kleinste afwijking in het ontwerp of de kleinste misser in de productie tot een catastrofe kan leiden. Wie over zijn raketten opschept, zal daar op een zekere dag spijt van krijgen. Het enige wat we kunnen doen, is elke lancering die goed gaat, vieren als een succes.”

Sander Koenen sprak voor dit artikel onder anderen met ir. Jean-Michel Desobeau (vicepresident kwaliteit bij raketfabrikant Arianespace), Rob Hermsen MSc (student luchtvaart- en ruimtevaarttechniek aan de TU Delft), ir. Barry Zandbergen (raketwetenschapper en docent Aerospace Engineering aan de TU Delft) en ir. Michel van Baal (ooit raketwetenschapper, nu voorlichter van de TU Delft).

Ga voor links met meer informatie naar www.kijkmagazine.nl/artikel/raketten-bouwen