

41

Maart 2003

SPACE CONNECTION

DOSSIER Dreiging uit de ruimte



Wetenschap vind je overal

behalve in een donker hoekje



De Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC) bouwen speciaal voor de jeugd een nieuwe interactieve website.

De DWTC worden aldus de eerste overheidsadministratie van het land die zijn activiteiten aan een jong publiek voorstelt.

De 'jongerensite' van de DWTC is er !

"Wetenschap vind je overal" biedt een staalkaart van de activiteiten die onderzoeksteams verrichten in verband met ruimtevaart, nieuwe technologieën, de Noordzee, het restaureren van kunstwerken, milieubeheer, aardobservatiesatellieten enz.

Men vindt er allerlei tests, een beeldenbank, links, een tweetalig glossarium, enz. De bezoeker kan tevens zijn mening kwijt of zelf een bijdrage leveren.



<http://www.belspo.be/young>

Inhoud



- 03 **Dossier:** dreiging uit de ruimte
- 03 Is de ruimte gevaarlijk voor ons?
- 04 De actieve zon
- 08 Straling uit het heelal
- 15 Inslagen
- 28 Gevaren van de ruimtevaart

- 31 **Standpunt:** Maan te koop
- 34 **Actualiteit**



Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (D.W.T.C.)

Space Connection is een nieuwsbrief uitgegeven door de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (D.W.T.C.). Deze nieuwsbrief informeert over recente verwezenlijkingen in de ruimtevaart en richt zich in het bijzonder tot de jeugd.

Space Connection gratis ontvangen?

Stuur uw naam en adres naar:

D.W.T.C.

Cel e-info

Ria D'Haemers

Wetenschapsstraat 8

1000 Brussel

of stuur een e-mail naar

dhae@belspo.be

<http://www.belspo.be>

Verantwoordelijke uitgever:

Ir. Eric Beka

Secretaris-generaal van de D.W.T.C.

Redactie:

D.W.T.C.

Cel e-info

Wetenschapsstraat 8

1000 Brussel

Externe medewerking:

Benny Audenaert, Paul Devuyst,

Christian Du Brulle, Théo Pirard,

Steven Stroeykens (dossier).

Coördinatie:

Patrick Ribouville

Abonnementenbeheer:

Ria D'Haemers

e-mail: dhae@belspo.be

Foto voorpagina:

(Document ESA/NASA)

Nummer 41 - Maart 2003

Is de *ruimte* gevaarlijk voor ons?

We zijn gewend – en dat geldt waarschijnlijk zeker voor de lezers van Space Connection – het heelal als iets uitnodigends te zien, een plaats die erom vraagt verkend te worden. Of als iets interessants, iets fascinerends. Of misschien als iets dat vooral mysterieus, vreemd, mensonvriendelijk of bizar is. Maar slechts zelden zien we de ruimte als een rechtstreekse bedreiging. Misschien is de ruimte gevaarlijk voor astronauten, zijn we geneigd te denken, maar toch niet voor ons, gewone mensen op aarde?



(NASA)

Nochtans zijn er wel degelijk gevaren die ons bedreigen uit de ruimte. Het zijn gevaren die niet overdreven moeten worden – de kans is in realiteit heel klein dat een grote planetoïde binnenkort tegen de aarde zou botsen, zoals in enkele spektakelfilms getoond wordt – maar ze zijn toch reëel. In dit dossier bespreken we de belangrijkste van deze gevaren, van de heel realistische met eerder beperkte gevolgen, zoals de activiteit van de zon, over de veelbesproken dreiging van planetoïde-inslagen, tot extreem onwaarschijnlijke maar wel interessante zoals de theoretische mogelijkheid van een gamma-uitbarsting in onze nabijheid.

Dossier Dreiging uit de ruimte

→ De zon: een bedreiging voor de aarde? (Soho)

De actieve **zon**

De zon is niet alleen de onmisbare bron van energie voor het leven op aarde. Het is ook een moeilijk te doorgronden, complexe en turbulente ster, die af en toe gevaarlijk is voor ons, aardbewoners.

De zon zendt niet alleen licht in onze richting. Naast het licht dat wij met onze ogen kunnen zien, straalt onze ster ook heel wat andere soorten elektromagnetische straling de ruimte in: van radiogolven tot röntgenstraling. Vooral de straling met kortere golflengte dan licht is potentieel gevaarlijk. De fotonen (lichtdeeltjes) van ultraviolette straling en röntgenstraling hebben genoeg energie om moleculen in ons lichaam te beschadigen. Vooral röntgenstraling is gevaarlijk en in hoge doses zelfs dodelijk.

Gelukkig wordt de meeste ultraviolet- en röntgenstraling tegengehouden door de atmosfeer van onze planeet. Alleen het zogeheten "nabije ultraviolet", dat is de ultraviolette straling met relatief lange golflengte, in het spectrum grenzend aan het gebied van het zichtbare licht, dringt doorheen de atmosfeer tot op het aardoppervlak. Maar ook dit nabije ultraviolet is niet zonder gevaar. Deze straling zorgt niet alleen voor het bruinen van de huid, ze kan bij overdreven blootstelling aan het zonlicht ook verbranding van de huid veroorzaken, en op langere termijn huidkanker.

Behalve licht en andere soorten elektromagnetische straling, stuurt de zon ook de zogeheten "zonnewind" de ruimte in. De zonnewind is een ijle wind van materiedeeltjes, die met een snelheid van gemiddeld 470 kilometer per seconde (bijna 1,7 miljoen kilometer per uur) door de ruimte beweegt. De zonnewind is te beschouwen als het buitenste deel van de ijle en hete atmosfeer van de zon, dat in de ruimte ontsnapt.

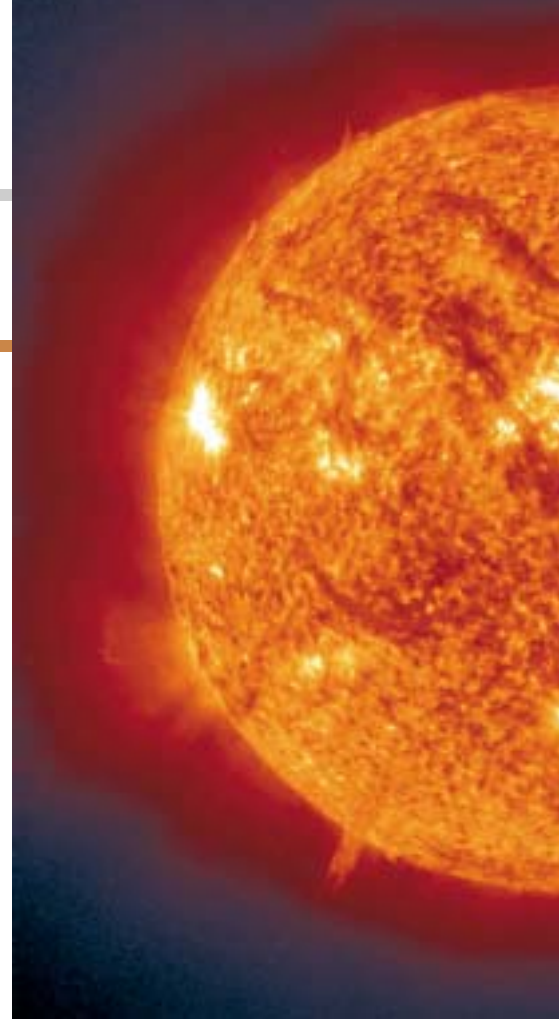
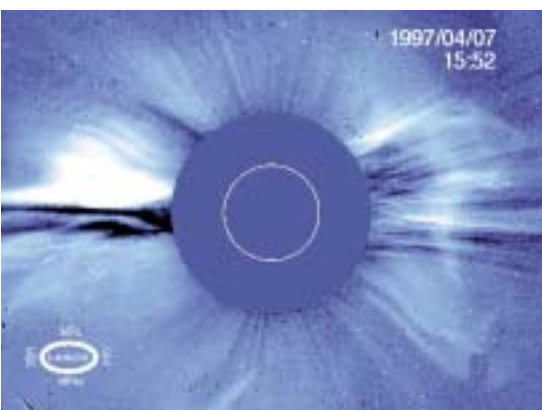
De zonnewind bestaat hoofdzakelijk uit protonen, dat zijn kernen van waterstofatomen.

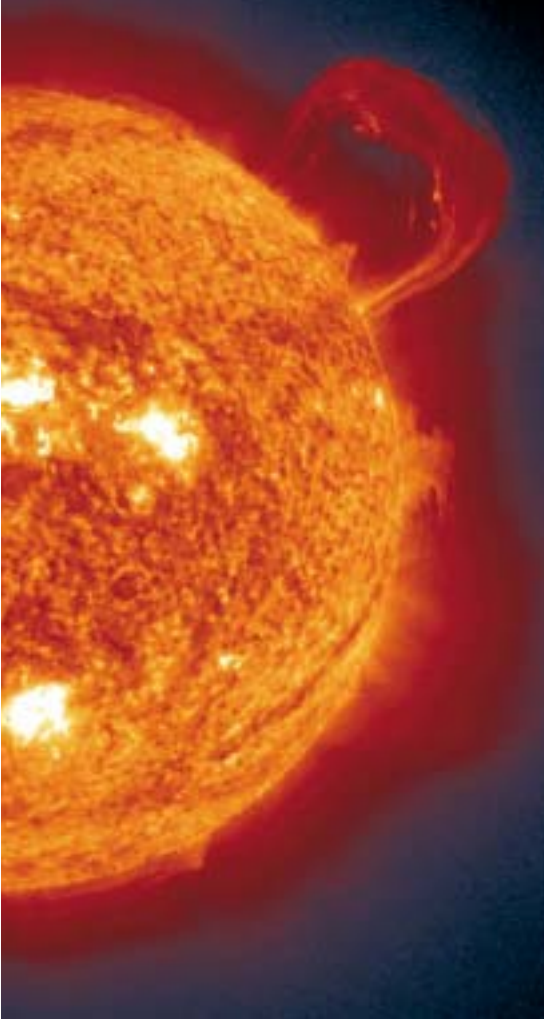
Protonen maken ongeveer 80 procent van de massa van de zonnewind uit. Het resterende deel bestaat voornamelijk uit heliumkernen. Daarnaast zijn er ook zwaardere ionen en elektronen. De zonnewind is bijzonder ijl: in de omgeving van de aarde is zijn dichtheid gemiddeld slechts negen protonen per kubieke centimeter. De zonnewind is normaal hoegenaamd niet gevaarlijk voor ons, of voor onze technologie. De deeltjes worden tegengehouden door de atmosfeer en door het magnetische veld van de aarde.

Maar de omstandigheden zijn niet altijd normaal. De zon is, hoe kalm en onveranderlijk ze er op het eerste gezicht ook uitziet, een stormachtige, turbulente wereld. En soms zendt ze met zo veel geweld deeltjes de ruimte in, dat de gevolgen veel ingrijpender zijn dan die van de gewone kalme zonnewind.

Bij zogeheten zonnevlammen, veroorzaakt door een soort kortsluitingen in het complexe en steeds veranderende magnetische veld van de zon, worden protonen en elektronen bijna tot de snelheid van het licht versneld, en worden krachtige bundels röntgenstraling de ruimte in gestuurd. Als de aarde in het pad van de uitbarsting ligt, dan

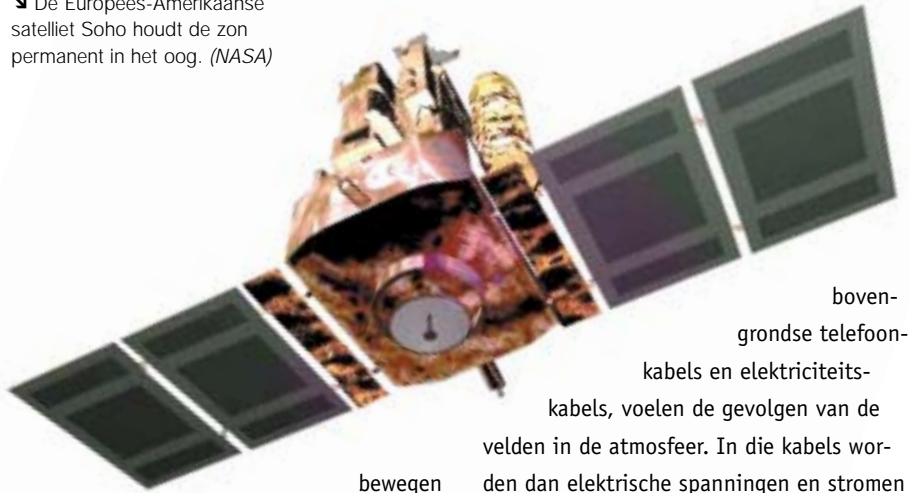
↓ Het begin van een coronale massa-uitstoting, vastgelegd door de Europees-Amerikaanse satelliet Soho. De zon zelf is op de foto bedekt door de schijf in het midden. (NASA)





← Poollicht boven de zuidpool.
(British Antarctic Survey)

↘ De Europees-Amerikaanse satelliet Soho houdt de zon permanent in het oog. (NASA)



boven-
grondse telefoon-
kabels en elektriciteits-
kabels, voelen de gevolgen van de
velden in de atmosfeer. In die kabels wor-
den dan elektrische spanningen en stromen
opgewekt die soms aanzienlijke schade
kunnen veroorzaken.

wordt de ionosfeer (een zeer hoge laag in de atmosfeer van de aarde, gekenmerkt door de aanwezigheid van geladen deeltjes) verstoord, met als gevolg black-outs van het kortegolf-radioverkeer. Radiocontact op lange afstand tussen plaatsen op het aardoppervlak is gebaseerd op de terugkaatsing van de radiogolven door de ionosfeer (althans wanneer geen gebruik wordt gemaakt van communicatiesatellieten).

De atmosfeer van de zon, de "corona", kan soms reusachtige hoeveelheden plasma (zeer heet geïoniseerd gas), doortrokken van magnetische velden, de ruimte in katapulteren. Dit zijn de zogeheten "coronal mass ejections" of coronale massa-uitstotingen, die met snelheden van meer dan driehonderd kilometer per seconde door de ruimte drijven. Ze kunnen in enkele dagen tijd de aarde bereiken. De gevolgen voor onze planeet zijn magnetische stormen, die gevaarlijk kunnen zijn voor heel wat technische installaties, en die soms buitengewoon opvallend en verspreid poollicht opwekken. Meestal is poollicht (of aurora's) alleen in de poolgebieden te zien. Het wordt veroorzaakt door geladen deeltjes uit de ruimte die tegen atomen in de hoge atmosferelagen botsen. Die deeltjes

bewegen
op een soort
schroefvormige banen langs
de veldlijnen van het magnetisch veld van de aarde, en in de buurt van de polen komen die veldlijnen bij elkaar en buigen ze naar het aardoppervlak toe.

Maar bij hevige "zonestormen" is het poollicht (als het over het noordelijk halfrond gaat ook het "noorderlicht" genoemd) soms tot in ons land zichtbaar, door de reusachtige aantallen geladen deeltjes waarmee het magnetisch veld van de aarde dan overspoeld wordt. De activiteit van de zon neemt toe en vermindert weer, volgens een ruwweg elfjarige cyclus. Het recentste maximum van activiteit vond plaats in de jaren 2000 en 2001; het vorige rond 1989.

Magnetische stormen

Tijdens magnetische stormen worden groot-schalige elektrische velden opgewekt. Elektronen die langs de magnetische veldlijnen nabij de polen in de atmosfeer terechtkomen, creëren krachtige elektrische stromen op grote hoogte. Die stromen wekken dan weer magnetische velden in de atmosfeer op, en die veroorzaken elektrische stromen in geleiders op het aardoppervlak. Vooral heel lange elektrisch geleidende objecten, zoals

Al in de negentiende eeuw was de zonne-activiteit op die manier merkbaar bij de telegrafie. In lange-afstands elektriciteitskabels, die bedoeld zijn om wisselstroom te dragen, wekken de velden gelijkstroom op. Die stroom kan, als hij te krachtig wordt, de transformatoren op het stroomnet oververhitten en beschadigen. In 1972 ontplofte hierdoor een grote transformator in British Columbia in Canada. In 1989 veroorzaakte de zonneactiviteit een grootschalige stroompanne in Québec. Grote delen van Québec waren negen uur lang in duisternis gehuld.

Noord-Amerika is kwetsbaarder voor deze zonestormen dan Europa, omdat een groot deel van het continent dicht bij de magnetische noordpool gelegen is. Elektriciteitsmaatschappijen in kwetsbare streken houden tegenwoordig de voorspellingen van het "ruimteweer" nauwlettend in de gaten.

Kwetsbare satellieten

Ook satellieten in een baan om de aarde kunnen de gevolgen merken van de zonne-activiteit. In 1998 viel het semafoonverkeer voor 45 miljoen gebruikers in Noord-Amerika

→ In de hoog vliegende Concorde worden de passagiers aan een hogere (maar nog steeds ongevaarlijke) stralingsdosis blootgesteld dan in gewone vliegtuigen. (*Rolls Royce*)

↳ Het internationale ruimtestation ISS. Als een grote zonnevlam zou optreden terwijl de astronauten een ruimtewandeling aan het maken zijn voor constructiewerken aan het ISS, dan zouden die blootgesteld worden aan een gevaarlijke dosis straling. (*NASA*)

uit door een defect aan de satelliet Galaxy 4. De oorzaak is nooit met zekerheid vastgesteld, maar er was een sterk vermoeden dat de storing te wijten was aan het "ruimteweer", veroorzaakt door de zon. Vermoedelijk ging in 1997 de Telstar 401 stuk door de zonneactiviteit en in 1994 de Canadese satellieten Anik E1 en Anik E2.

Hoog-energetische geladen deeltjes beschadigen de zonnepanelen van satellieten en verminderen zo de stroomtoevoer. Elektronen met hoge energie die doordringen tot in de elektronica van een satelliet, kunnen computerfouten veroorzaken door willekeurige bits te wijzigen. Overigens is hiervoor niet alleen de zon verantwoordelijk; ook straling die van verder in het heelal afkomstig is, kan dergelijke storingen opwekken.

De zon veroorzaakt soms op nog een andere manier hinder voor satellieten. Bij hoge zonneactiviteit zwelt de atmosfeer van de aarde op en dat verhoogt de wrijving die satellieten ondervinden van de hoogste atmosferelagen. Hierdoor daalt de baan van satellieten en wordt hun levensduur korter. Dat verschijnsel werd onder meer Skylab, het eerste Amerikaanse ruimtestation, fataal. Skylab stortte in 1979 neer boven de Indische Oceaan en Australië.

Zonnestormen stellen astronauten in de ruimte bloot aan schadelijke straling. Als een grote zonnevlam zou optreden terwijl astronauten een ruimtewandeling maken, bijvoorbeeld voor constructiewerken aan het internationale ruimtestation ISS, dan zou een astronaut in één keer aan meer straling kunnen worden blootgesteld dan volgens de normen van de NASA toegelaten is voor de hele carrière. Overigens kan deze straling ook enig gevaar inhouden voor niet-astronauten. In de Concorde, die op grote hoogte



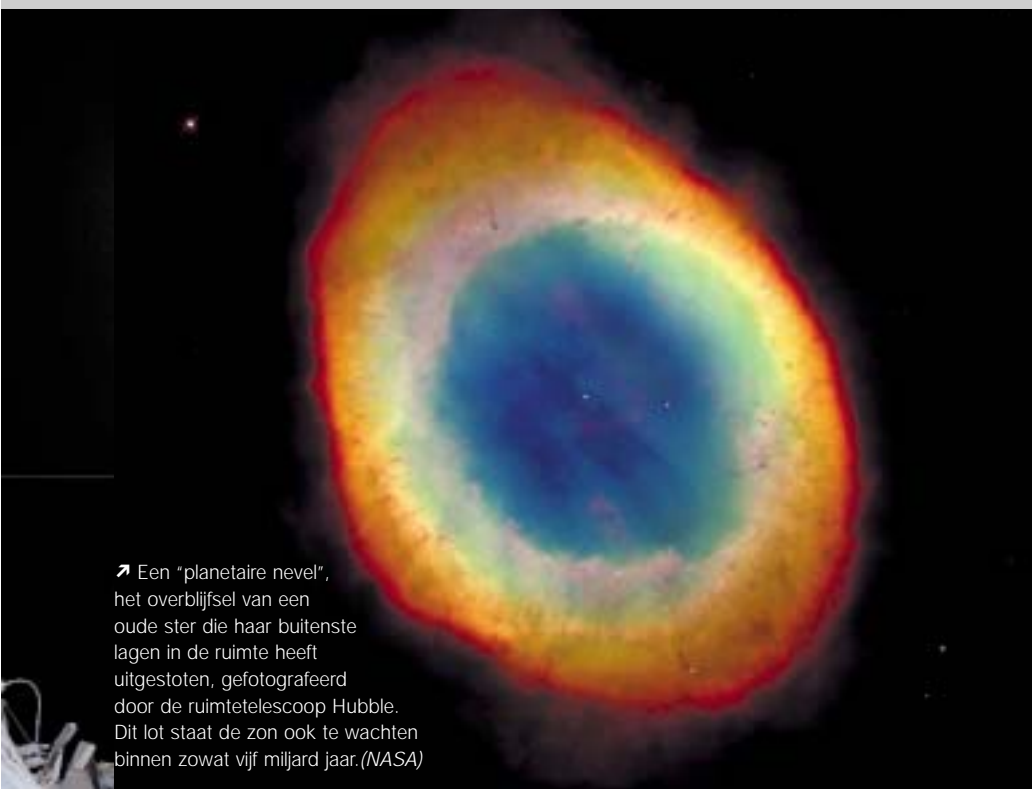
vliegt, kan een zonnestorm leiden tot een stralingsdosis voor de inzittenden die overeenkomt met die van één röntgenfoto om het uur, gedurende de hele reis.

Om al deze redenen proberen wetenschappers momenteel om het door de zonneactiviteit veroorzaakte ruimteweer te voorspellen. Met satellieten wordt de zon zelf 24 uur op 24 geobserveerd, en wetenschappers proberen uit de tekenen van magnetische activiteit op en rond de zon het optreden van fenomenen als coronale massa-uitstotingen te voorspellen. Andere satellieten doen metingen in de ruimte tussen zon en aarde, om rechtstreeks vast te stellen hoeveel en welke soort deeltjes op weg zijn naar onze planeet.

Een gevaar van een heel andere orde dat van de zon uitgaat, heeft te maken met de intensiteit van de gewone zonnestraling. Sommige wetenschappers vermoeden dat de zon niet altijd even krachtig schijnt, en dat de wijzigingen verantwoordelijk zouden kunnen zijn voor klimaatveranderingen op aarde. Er zijn aanwijzingen dat de zon enkele eeuwen geleden lange tijd minder krachtig heeft geschinen, en dat die vermindering van de zonne-intensiteit verantwoordelijk was voor de "kleine ijstijd" die Europa

van de vijftiende eeuw tot het begin van de negentiende eeuw ondervonden heeft. Het was in die periode gemiddeld beduidend kouder dan in de rest van het millennium, met een dieptepunt in het laatste kwart van de zestiende eeuw. We beschikken nog niet lang genoeg over goede metingen van de intensiteit van de zonnestraling om met zekerheid te kunnen zeggen hoe uitzonderlijk dergelijke afwijkingen zijn, en of we de komende decennia en eeuwen kunnen rekenen op een redelijk constant blijvende zonnestraling.

De allergrootste dreiging die van de zon uitgaat, situeert zich gelukkig op een bijzonder lange termijn. Langzaam maar zeker raakt de waterstofvoorraad in het binnenste van de zon op. Al 4,5 miljard jaar lang wordt onze ster van energie voorzien door kernfusie, waarbij waterstof wordt omgezet in helium. Wat gebeurt er wanneer de voorraad waterstof is opgebruikt? Astronomen hebben een verrassend nauwkeurig antwoord op die vraag. Ze hebben de afgelopen decennia een goed inzicht gekregen in de evolutie van sterren, door met telescopen sterren in diverse evolutiestadia te observeren, en met computermodellen waarin de sterevolutie wiskundig wordt nagebootst.



➤ Een "planetaire nevel", het overblijfsel van een oude ster die haar buitenste lagen in de ruimte heeft uitgestoten, gefotografeerd door de ruimtetelescoop Hubble. Dit lot staat de zon ook te wachten binnen zowat vijf miljard jaar. (NASA)

De totale levensduur van de zon is lange tijd op ongeveer tien miljard jaar geschat, maar berekeningen uit de jaren negentig wijzen op een iets langere levensverwachting, tot bijna dertien miljard jaar in het meest optimistische geval. Alle berekeningen zijn het echter in grote lijnen eens over wát er met de zon gaat gebeuren, al verschillen ze van mening over de precieze tijdstippen. We geven hierna een gedetailleerde prognose voor de toekomst van onze ster, gebaseerd op berekeningen uit 1993 van sterrenkundigen van het California Institute of Technology en van de universiteit van Toronto. Een eerste besluit uit de berekeningen is alvast verontrustend: de zon gaat geleidelijk helderder worden. Anders gezegd: naarmate haar brandstofvoorraad begint op te raken, zal ze met het restant kwistiger omspringen. Binnen 1,1 miljard jaar zal de zon op die manier al tien procent meer licht en warmte geven dan vandaag. Dat zou mogelijk kunnen volstaan om het klimaat op aarde blijvend te ontwrichten en leven zoals we dat vandaag kennen onmogelijk te maken.

Binnen ongeveer 3,5 miljard jaar, wanneer het einde van de brandstofvoorraad echt in zicht komt, loopt het helemaal uit de hand. Dan begint de zon sterk op te zwellen. Nog

eens ongeveer een miljard jaar later is ze 170 keer groter geworden dan nu. Dat is groot genoeg om de planeet Mercurius op te slokken en het aardoppervlak te laten koken. De zon is dan de soort ster geworden die astronomen een rode reus noemen.

Daarna komt een tijdelijke fase van inkrimping, gevolgd door een nieuwe, nog sterkere uitzetting. Korte tijd zal de zon meer dan vijfduizend keer feller schijnen dan vandaag, en daarbij de aarde verhitten tot 1.600 graden. Of de aarde net als Mercurius (en waarschijnlijk Venus) opgeslokt zal worden door de zon, is nog niet met zekerheid te zeggen. De berekeningen geven alleen aan dat het kantje boord wordt; de onzekerheidsmarges zijn voorlopig nog te groot om uitsluitsel te geven.

Tenslotte, binnen een kleine 4,5 miljard jaar, zal de zon in een reeks laatste stuip-trekkingen een groot deel van haar buitenste lagen van zich wegstoten. Het restant krimpt in elkaar tot een bolletje dat niet groter is dan een planeet, een "witte dwerg". Aanvankelijk is die nog zeer heet, maar geleidelijk koelt hij af. Als de aarde dan nog bestaat, wordt ze voorgoed in een diepe en donkere ijstijd gedompeld.



➤ De planeet Mercurius loopt het risico door de zon opgeslokt te worden wanneer die haar nucleaire 'brandstofvoorraad' bijna heeft uitgeput en opzwellt tot een rode reuzenster. (NASA)

Dossier Dreiging uit de ruimte

Straling uit het heelal

➤ De "gedoemde" ster *Èta Carinae*, die binnen een astronomisch gesproken korte tijd gaat ontploffen als supernova. Op de foto is te zien dat de ster omgeven wordt door grote wolken gas. Gelukkig staat *Èta Carinae* niet in de nabijheid van ons zonnestelsel, anders zou de dreigende supernova een groot gevaar voor ons inhouden. (NASA)

Niet alleen van de zon komt er potentieel gevaarlijke straling in de richting van de aarde.

Ook bronnen verder weg in het heelal, zoals sterren, supernova's (ontploffende sterren) en de actieve kernen van sterrenstelsels zenden hoog-energetische elektromagnetische golven (ultravioletstraling, röntgenstraling en zelfs gammastraling) en snel bewegende materiedeeltjes uit. De elektromagnetische straling uit de rest van het heelal is in normale omstandigheden altijd geringer dan de elektromagnetische straling die van de zon afkomstig is, en de schade-

lijke componenten ervan worden volledig door de atmosfeer tegengehouden.

De zogeheten "kosmische straling", die bestaat uit tot hoge snelheden opgejaagde elementaire deeltjes, laat soms wel haar gevolgen voelen tot op de grond. Deze kosmische straling levert een belangrijke bijdrage aan de natuurlijke dosis schadelijke "ioniserende straling" die alle mensen levenslang te verwerken krijgen. Deze dosis (van alle bronnen samen) bedraagt typisch zo'n 2,7 millisievert (mSv) per jaar. Dat is het geschatte gemiddelde voor de wereldbevolking, maar het juiste

getal kan sterk verschillen naargelang de plaats op aarde. Van die totale stralingsdosis levert kosmische straling (inclusief die van de zon) zo'n 0,2 tot 0,4 millisievert. Dat is vergelijkbaar met de dosis die we gemiddeld per jaar te verwerken krijgen door medische toepassingen als röntgenfoto's, met de dosis die we krijgen door radioactiviteit van de bodem en gebouwen en met de dosis door radioactiviteit in ons voedsel en drank. Een veel grotere bijdrage wordt geleverd door de radioactiviteit van radon in de lucht. Sievert is een eenheid voor hoeveelheid schadelijke straling. Per definitie is 1 sievert gelijk aan een

← Supernova 1987A, een ster die astronomen in 1987 zagen ontploffen in de Grote Magellaanse Wolk, een van de begeleidend stelsels van onze Melkweg. (NASA)

↓ De grote deeltjesversneller LHC die gebouwd wordt door het Europese laboratorium voor deeltjesfysica CERN in Genève. Zelfs met deze kilometers grote versneller, kunnen fysici elementaire deeltjes nog niet tot dezelfde energie opjagen als de meest energetische deeltjes van de kosmische straling. (CERN)



hoeveelheid straling die even schadelijk is voor het organisme als de hoeveelheid gamma- of röntgenstraling die zorgt voor een opname van energie in het lichaam van 1 joule per kilogram lichaamsgewicht. Er wordt vanuit gegaan dat een dosis van 1 sievert (of 1000 millisievert) een kankerrisico van vijf procent teweegbrengt. De dosis die we krijgen door kosmische straling is dus maar een zeer kleine fractie daarvan.

Sommige deeltjes van de kosmische straling hebben extreem veel energie, veel meer dan bereikt kan worden in de krachtigste deeltjesversnellers

op aarde. De LHC (Large Hadron Collider) is een deeltjesversneller die in aanbouw is in CERN, het Europese laboratorium voor deeltjesfysica in de buurt van Genève. De LHC zal deeltjes kunnen produceren met een energie van 7 TeV (teraelektronvolt; 1 elektronvolt = $1,6 \times 10^{-19}$ joule), veel meer dan eender welke andere deeltjesversneller op aarde. Maar in de kosmische straling zijn al deeltjes waargenomen met een energie van 3×10^{20} elektronvolt, dus ongeveer veertig miljoen keer meer.

Wanneer zo'n energetisch deeltje in de atmosfeer binnen-

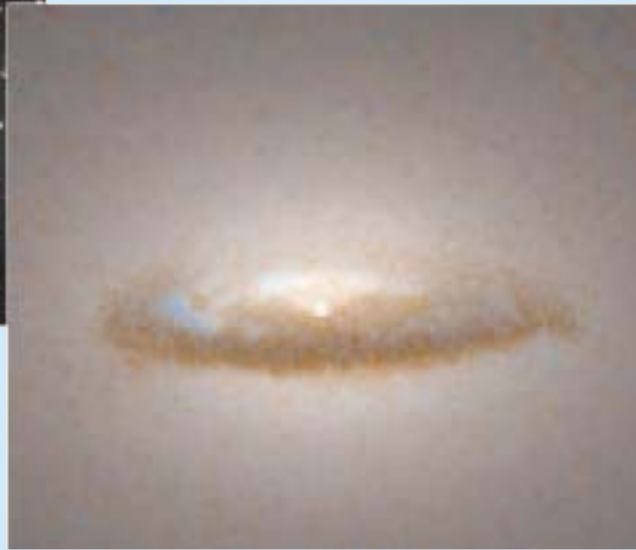
dringt, botst het al snel tegen een atoom in de hoogste luchtlagen. Het getroffen atoom krijgt hierdoor een harde klap. Wellicht zal de atoomkern uit elkaar spatten, waarbij er elementaire deeltjes met grote snelheid wegschieten. Vervolgens botsen die weer tegen andere atomen in de atmosfeer, waarbij weer nieuwe deeltjes wegschieten, enzovoort. Het resultaat is een "douche" van "secundaire" deeltjes, vooral muonen, waarvan er uiteindelijk een aantal de grond bereiken. Elk van die secundaire deeltjes heeft veel minder energie dan het oorspronkelijke deeltje dat de atmosfeer binnendrong.

De deeltjes van de kosmische straling worden waarschijnlijk tot hun hoge energieën opgejaagd op enkele van de meest "gewelddadige" plaatsen in het heelal. Voorbeelden zijn supernovarestanten, de overblijfsels van ontplofte sterren, en de "heksenketels" in de buurt van de reusachtige zwarte gaten in de kernen van sterrenstelsels. In de buurt van zo'n zwart gat wordt de materie extreem verhit, en worden de geladen deeltjes waarschijnlijk tot grote snelheden opgezweept door magnetische velden.

De oorsprong van de kosmische stralingsdeeltjes met de meeste



↑→ De omgeving van een reusachtig zwart gat in de kern van het sterrenstelsel NGC 7052. Waarschijnlijk ontstaan op deze soort plaatsen de meest energierijke deeltjes van de kosmische straling. (NASA)



energie van alle, die boven 10^{20} elektronvolt, is voorlopig nog een raadsel.

Ontploffende sterren

Enkele wetenschappers hebben gesuggereerd dat hoogenergetische elektromagnetische straling en kosmische straling uit het heelal in sommige speciale omstandigheden toch gevaarlijk zouden kunnen zijn voor het leven op aarde. We zouden bijvoorbeeld kunnen denken aan een supernova (de ontploffing van een ster) in onze omgeving.

De supernova's die al door astronomen zijn waargenomen, bevonden zich allemaal op grote afstanden van ons zonnestelsel. Sinds de uitvinding van de telescoop is er zelfs nog nooit een supernova waargenomen binnen onze eigen Melkweg; de dichtstbijzijnde bevond zich in de Grote Magellaanse Wolk, een van de kleine satellietstelsels van de Melkweg. De meeste waargenomen supernova's doen

zich voor in andere melkwegstelsels op meerdere miljoenen lichtjaren afstand, waar ze alleen met telescopen kunnen worden waargenomen. Maar een supernova in onze buurt zou dodelijke gevolgen kunnen hebben. Tijdens de explosie straalt een supernova tijdelijk zo helder als een heel melkwegstelsel. Behalve licht worden er ook alle andere soorten elektromagnetische straling en energetische materiedeeltjes uitgezonden (en daarnaast gravitatiegolven en massaal veel neutrino's). Als een van de sterren in onze buurt, op slechts enkele lichtjaren afstand, een supernova zou worden, dan zou dat waarschijnlijk een ecologische ramp veroorzaken op aarde.

Astronomen Scott Sandford en Jesse Bregman van het Ames Research Center van de NASA in Moffett Field in Californië hebben uitgerekend op welke afstand van de aarde een supernova gevaarlijk zou zijn. Een zogeheten supernova van het

type Ia (dat is de explosie van een witte dwergster die te veel massa van een begeleidende ster heeft opgenomen) zou, als ze zich op een afstand van 1 lichtjaar zou voordoen, aan de hemel even helder schijnen als de zon. Een supernova van het type II (een ster met zeer veel massa die ontploft wanneer haar nucleaire brandstof is uitgeput) zou op een afstand van 0,7 lichtjaar dezelfde schijnbare helderheid hebben. Ter vergelijking: de meest nabije buurster van de zon bevindt zich op 4,2 lichtjaar.

Het grootste gevaar van een supernova zou volgens de NASA-onderzoekers waarschijnlijk afkomstig zijn van de intense gammastraling die uitgezonden wordt door radioactieve isotopen als nikkel-56. Zelfs op een afstand van enkele duizenden lichtjaren zou het effect daarvan te vergelijken zijn met dat van de meest intense zonnevlammen. Het is moeilijk een duidelijke grens af te bakenen vanaf

waar een supernova bedreigend zou zijn voor het leven op aarde, vinden de astronomen, maar ze schatten toch dat de gammastraling zeer gevaarlijk zou kunnen zijn bij een supernova op tientallen lichtjaren afstand. Op nog kleinere afstanden zouden ook de ionen met hoge energie gevaarlijk worden, en zelfs de neutrino's van de explosie. Neutrino's zijn elementaire deeltjes die zeer gemakkelijk doorheen alle materie dringen. Ze worden dan ook als volstrekt ongevaarlijk beschouwd. Elke seconde passeren er miljarden van de zon afkomstige neutrino's doorheen ons lichaam, zonder dat we daar ook maar iets van merken. Maar heel af en toe kan een neutrino dat in botsing komt met een atoom toch een kernreactie veroorzaken. De kans daarop is zo klein, dat ze in normale omstandigheden volstrekt verwaarloosbaar is. Maar een supernova zendt enorme hoeveelheden neutrino's uit (in feite wordt het grootste deel van de energie van de explosie afgevoerd door neutrino's, meer zelfs dan de energie in elektromagnetische straling of in de kinetische energie van de uiteenspatende ster). Het gevolg is volgens de NASA-astronomen dat een nabije supernova toch door haar intense neutrino-flux radioactiviteit zou kunnen veroorzaken op aarde.

Gelukkig ziet het er niet naar uit dat een dergelijke gebeurtenis op komst is. Geen van de sterren in onze omgeving is van een

van de types die aanleiding kunnen geven tot supernova-explosies. Er zijn twee soorten sterren die als supernova kunnen exploderen: sterren met een zeer grote massa en witte dwergen die deel uitmaken van nauwe dubbelsterren. Sterren met een zeer grote massa verbruiken in een hoog tempo hun voorraad nucleaire "brandstof". Wanneer die is opgebruikt implodeert hun kern onder invloed van de zwaartekracht, waarbij een neutronenster of een zwart gat wordt gevormd. De hogere lagen van de ster worden hierbij met grote snelheid de ruimte uitgestoten. Bij de andere soort supernova (het zogeheten "type Ia") verzamelt een witte dwerg materie van de andere ster in het dubbelstersysteem, tot zijn massa de maximumlimiet voor een witte dwerg overschrijdt (de zogeheten "limiet van Chandrasekhar"). Ook daarop volgt een explosie.

Gelukkig zijn er in onze buurt in de Melkweg noch supermassieve sterren noch witte dwergen die dreigen de Chandrasekhar-limiet te overschrijden. Dat onze eigen zon ooit een supernova zou worden, is al helemaal uitgesloten. Zij zal haar leven op een rustige manier eindigen door haar buitenste lagen af te stoten en een (solitaire) witte dwerg te worden.

→ Waarneming van een gamma-uitbarsting door de satelliet BeppoSAX. (NASA)

De mysterieuze gamma-uitbarstingen

Een bijzonder dreiging gaat uit van de zogeheten "gammaflitsen" of "gamma-uitbarstingen" (in het Engels: gamma ray bursts of GRB's). GRB's zijn mysterieuze flitsen van gammastraling uit het heelal die voor het eerst werden waargenomen met militaire satellieten die ontworpen waren om kernexplosies op het aardoppervlak op te sporen. Tot de verbazing van zowel militairen als astronomen, zagen de satellieten ook regelmatig explosies in de ruimte. Met gespecialiseerde observatoria voor gammastraling, zoals de Amerikaanse satelliet Compton Gamma Ray Observatory of de Italiaans-Nederlandse satelliet BeppoSAX zijn inmiddels al grote aantallen gamma-uitbarstingen waargenomen. Er treedt er zowat één per dag op; hun typische duur is enkele secon-

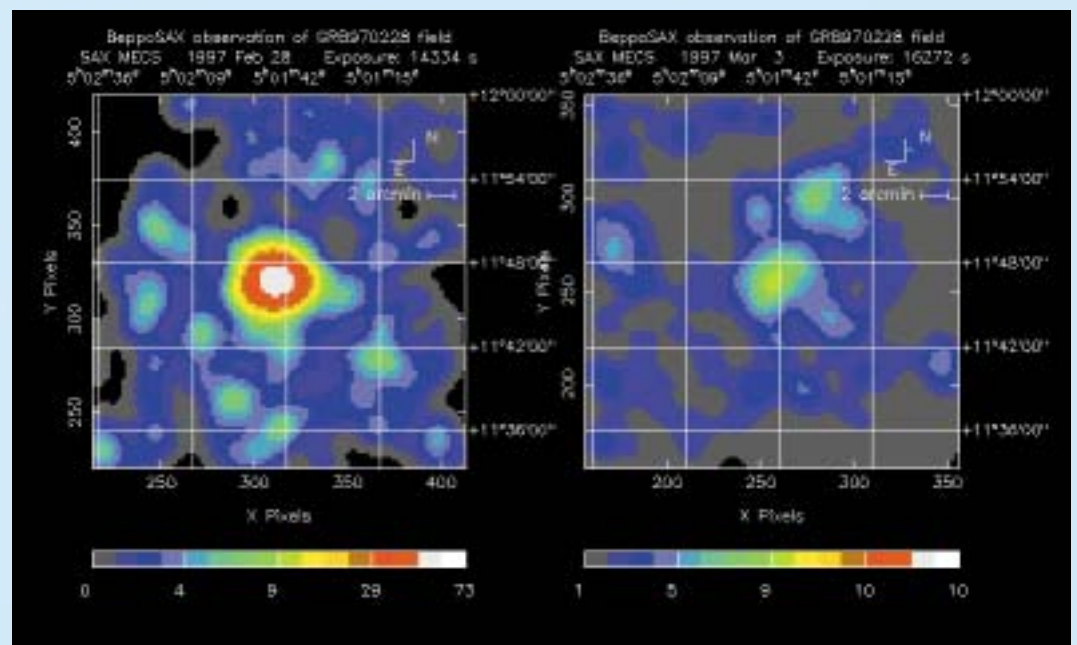
den tot meerdere minuten. Ze zijn gelijkmatig verspreid over de gehele hemel.

Lange tijd was de aard van de GRB's een compleet raadsel, en ook vandaag hebben astronomen nog geen zekerheid over de oorsprong van het fenomeen. Maar er zijn toch al enkele stevige aanwijzingen gevonden die doen vermoeden dat de gammaflitsen verwant zijn met supernova's. De grote moeilijkheid was lange tijd dat de gamma-uitbarstingen alléén in gammastraling werden waargenomen. Ondanks alle pogingen werden er nooit gelijktijdig ook andere elektromagnetische golven zoals zichtbaar licht waargenomen van dezelfde bron. De detectoren voor gammastraling hadden een zeer povere resolutie: ze konden slechts zeer ruwweg bepalen uit welke richting de opgevangen gammastraling kwam. Daardoor kon de positie van de GRB's slechts heel

onnauwkeurig bepaald worden, en waren astronomen niet in staat hun krachtige optische telescopen op de plaats van het fenomeen te richten.

Pas dankzij de Europese satelliet BeppoSAX is daar verandering in gekomen. Die satelliet nam hetzelfde stuk hemel tegelijk waar met een gammadetector en een röntgentelescoop. Het bleek dat de gammaflitsen, zoals verhoopt, tegelijk ook in röntgenstraling waarneembaar waren. Met de röntgentelescoop kon de positie van het fenomeen veel nauwkeuriger bepaald worden. Door de zo gevonden coördinaten snel naar astronomen op de grond door te sturen, werd het mogelijk telescopen voor zichtbaar licht op de goede plaats aan de hemel te richten vóór het fenomeen helemaal voorbij was.

In 1997 lukte het op die manier voor het eerst om het "nagloeien"



↓ Een botsing van twee neutronensterren is een van de voorgestelde oorzaken van gamma-uitbarstingen. (NASA)



van een gamma-uitbarsting waar te nemen in zichtbaar licht. Voor het eerst konden astronomen hun hele instrumentarium voor de studie van zichtbaar licht op de mysterieuze gamma-uitbarstingen loslaten. Waarnemingen met de allergrootste telescoop ter wereld, de Keck-telescoop op Hawaï, maakten het mogelijk om de afstand van de explosie te bepalen. Dat gebeurde door een spectrum te nemen van het licht van de nagloeiende GRB en de roodverschuiving ervan te meten. Die eerste meting van de afstand van een GRB was een doorbraak. De explosie bleek zich te hebben voorgedaan, niet alleen buiten ons zonnestelsel, niet alleen buiten onze Melkweg, maar bijna aan de rand van het waarneembare heelal, op meerdere miljarden lichtjaren afstand.

Ook de volgende GRB's waarvan de afstanden gemeten werden, bleken zich zeer ver in het heelal te hebben voorgedaan. En ondanks die immense afstand zagen we ze tot op aarde nog behoorlijk helder stralen. Voor wie met gamma-ogen kon kijken, zouden gamma-uitbarstingen de helderste lichten aan de hemel zijn, zelfs helderder dan de zon. Zo ver weg en toch nog zo duidelijk te zien, dan moest het wel echt om buitengewoon

krachtige explosies gaan, *"the biggest bang since the big one"*, zoals een commentator het uitdrukte. Ter vergelijking: als we op een of andere manier de héle planeet aarde zouden kunnen omvormen tot een gigantische stapel atoombommen, en als we vervolgens tien miljard van die bom-planetten zouden verzamelen, dan pas zouden we in de buurt komen van de explosieve kracht van een GRB.

Er zijn verscheidene hypothesen voorgesteld over wat die gigantische explosies zou kunnen veroorzaken. Eén ervan is dat het gaat om een botsing tussen twee neutronensterren (de geïmplodeerde kernen van zware sterren die overblijven na een supernova explosie). Er zijn dubbelsterren bekend die uit twee neutronensterren bestaan, en waarin de componenten, terwijl ze rond elkaar wentelen, heel langzaam dichterbij elkaar komen. Onvermijdelijk moet die evolutie uiteindelijk leiden tot een botsing.

Een andere hypothese is dat gamma-uitbarstingen veroorzaakt worden door een extreem krachtige soort supernova's, de zogeheten hypernova's. Dat zouden explosies zijn van extreem zware sterren, waarbij in de kern een zwart gat gevormd wordt in plaats van een neutronenster.

Een recent idee is dat GRB's ontstaan doordat supernova's (of op zijn minst sommige supernova's) niet symmetrisch verlopen. De ster zou bij een

dergelijke supernova niet zomaar ontploffen, waarbij de flarden in gelijke mate in alle richtingen worden weggeslingerd. Bij de ontploffing zou vooral in twee richtingen, die van de polen van de ster, materie worden weggestoten. Er zouden dan "jets" of straalstromen ontstaan die in twee richtingen met grote kracht van de ontploffende ster wegschieten.

De meeste supernova's zien we als het ware "van opzij", als deze hypothese correct is, maar heel af en toe gebeurt het toevallig dat een van de twee jets precies op ons gericht is. In dat geval zien we een veel helderder flits dan wanneer we van opzij kijken. Gezien van opzij observeren we een gewone supernova, maar als de jet op ons is gericht, zien we een GRB, volgens deze hypothese. Dan is als het ware de "schijnwerper" op ons gericht. Dat de jet op ons gericht is, komt zelden voor. Maar de waargenomen flits is in dat geval zó helder, dat we het fenomeen zelfs op miljarden lichtjaren afstand nog met gemak kunnen waarnemen, wat voor een gewone supernova niet het geval is. De relatief weinige keren dat een jet recht op ons gericht is, kunnen we dat dus gegarandeerd waarnemen, om het even waar in het heelal de explosie zich voordoet. Dat verklaart waarom er toch vrij frequent GRB's worden geobserveerd.

Wanneer een gamma-uitbarsting zich in onze buurt in de Melkweg zou voordoen, zouden de gevolgen voor de aarde catastrofaal

kunnen zijn, of het nu gaat om een jet van een supernova die op ons gericht is, of om botsende neutronensterren of om nog een andere soort super-explosie. Het is een scenario waar Hollywood, dat al over de meest uiteenlopende soort natuurrampen films heeft gemaakt, inclusief planeetoïde-inslagen, nog niet aan gedacht heeft.

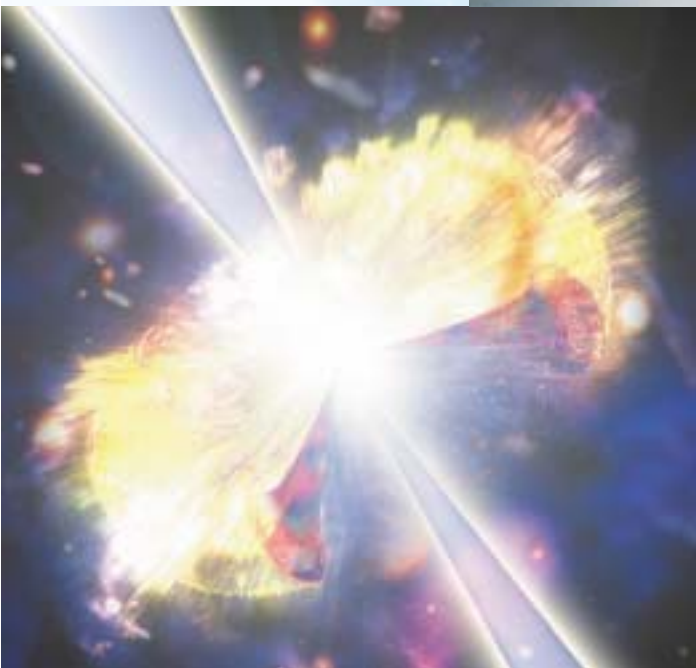
Gelukkig zou slechts de helft van de aarde echt hard getroffen worden: het halfrond dat de pech heeft naar de explosie gericht te zijn op het moment dat de meest intense flits van gammastraling bij onze planeet aankomt. Het belangrijkste onmiddellijke gevolg zou zijn dat de ozonlaag vernietigd zou worden, met een totale ecologische ontregeling op het aardoppervlak als resultaat. Mogelijk zou de eigenlijke gammaflits gevolgd worden door een maandenlang intens bombardement met hoog-energetische kosmische stralingsdeeltjes. Die zouden niet alleen de gezondheid van mensen en dieren bedreigen, maar zelfs het aardoppervlak voor duizenden jaren radioactief kunnen maken. Als GRB's veroorzaakt worden door botsende neutronensterren, dan zou er zich zowat om de honderd miljoen jaar een kunnen voordoen op minder dan drieduizend lichtjaar afstand, volgens berekeningen van drie Israëliëse astronomen, Nir Shahiv, Arnon Dar en Ari Laor. Op minder dan drieduizend lichtjaar zou een gammaflits aanzienlijke schade kunnen aanrichten.

Wat zouden wij op aarde ervan merken als zich op die afstand een GRB zou voordoen? Allereerst zou onze planeet voor korte tijd baden in een intense gloed van gammastraling, die krachtiger zou zijn dan het licht van de zon. We zouden vanop de grond een stukje van de hemel zien schijnen in een blauwachtig licht, veroorzaakt door de zogeheten (zichtbare) Cerenkovstraling die wordt uitgezonden wanneer de gammafotonen de hoge atmosferelagen treffen en daar materiedeeltjes met grote snelheid in beweging brengen. Naar schatting zou de blauwe vlek even helder zijn als de volle



→ Tekening van Swift, een geplande satelliet die gamma-uitbarstingen moet waarnemen. (NASA)

↓ Het meest plausibele model voor het ontstaan van een gamma-uitbarsting is een "hypernova", een supernova-achtige explosie van een ster waarbij in twee richtingen zeer intense stralenbundels worden uitgezonden. (NASA)



maan en iets groter. Volgens Stephen E. Thorsett van de universiteit van Princeton zouden de gammafotonen in de hoge atmosferelagen moleculen uiteendoen vallen. Dat zou een reeks chemische reacties in gang zetten, die ertoe zou leiden dat enorme hoeveelheden stikstof-oxiden in de atmosfeer zouden komen, althans aan de kant van de aarde die naar de gammaflits gericht is.

Stikstofoxiden zijn welbekend als bestanddeel van vervuilde lucht in ons milieu. Ze komen

onder meer voor in de stedelijke "smog". Mogelijk zou luttele seconden na het begin van de GRB de lucht aan de ongelukkige kant van de aarde donker kleuren door de enorme hoeveelheden vrijgekomen stikstofoxiden, volgens de berekeningen van Thorsett. De stikstofoxiden zouden vervolgens in korte tijd de ozonlaag afbreken. Het is de ozonlaag die ons beschermt tegen de schadelijke ultraviolette straling van de zon. De ozonlaag zou niet slechts aan één kant van de aarde verdwijnen. Wind zou de stikstofoxiden over de

hele wereld meevoeren, zodat ze overal hun destructieve werk kunnen doen.

Mensen kunnen zichzelf beschermen tegen de drastisch toegenomen hoeveelheid ultravioletstraling die het gevolg zou zijn van het verdwijnen van de ozonlaag, maar planten en dieren kunnen dat niet. Mogelijk zouden bepaalde planten- of diersoorten verdwijnen, wat een zware ontwrichting van vele ecosystemen zou kunnen meebrengen. Het zou decennia duren voor de massale hoeveelheid stikstof-oxiden verdwenen zouden zijn.

Nochtans noemen astrofysici Peter Leonard en Jerry Bonnell in een artikel in het blad *Sky & Telescope* de gevolgen van de stikstofoxiden "het goede nieuws" wanneer het over een GRB gaat. Het "slechte nieuws" is de stortregen van intense kosmische straling, die enkele dagen na de gammaflits begint en zowat een maand zou duren. De twee onderzoekers vergelijken de rond haar as draaiende aarde met "een kip aan het spit", blootgesteld aan de kosmische straling. De hoog-energetische kosmische stralingsdeeltjes zouden, nadat ze op grote hoogte voor het eerst tegen een atoom gebotst zijn, op grondniveau "douches" van muonen en andere deeltjes veroorzaken (net zoals ze dat in normale tijden doen, maar niet zo talrijk). De dosis muonen op grondniveau zou volgens de astrofysici ongeveer honderd keer de dosis zijn die dodelijk is voor mensen.

De snelle muonen zouden zelfs honderden meters onder water doordringen, en zelfs onder de grond. Alleen de meest stralingsbestendige soorten, zoals sommige insecten, zouden het overleven. Bovendien zouden de muonen atoomkernen beschadigen, en zo de bodem voor jaren radioactief maken.

In één enkele maand zou de aarde evenveel kosmische straling te verwerken krijgen als anders in tien miljoen jaar. Volgens Shahiv, Dar en Laor zouden GRB's op deze manier het optreden van massale uitstervingen van planten- en diersoorten in het verleden kunnen verklaren. Andere onderzoekers zijn echter sceptisch over die theorie. Sporen van de radioactieve isotopen die zo'n gebeurtenis zou achterlaten in de aardlagen, zijn nog niet gevonden. Gamma-uitbarstingen zijn nog niet voldoende begrepen om met enige zekerheid uitspraken te kunnen doen over de frequentie waarmee ze in ons deel van de Melkweg voorkomen, laat staan over hun gevolgen voor de aarde. Bovendien zijn er voor de belangrijkste episodes van massaal uitsterven in de geologische geschiedenis al uitstekende andere verklaringen gevonden, zoals hierna wordt besproken.

Al zijn GRB's een grotendeels hypothetisch gevaar voor de aarde, het heeft Leonard en Bonnell toch niet belet om alvast enkele manieren te verzinnen waarop we ons ertegen zouden kunnen beschermen als

ze zich zouden voordoen. Allereerst merken de auteurs op dat gammaflitsen zich hoe dan ook zeer zelden voordoen, en dat het mogelijk is om ze lang van tevoren te voorspellen. Reusachtige sterren die mogelijk kunnen exploderen zijn zeer opvallend. Ook neutronensterparen zijn zonder veel moeilijkheden te observeren, en ze gedragen zich bijzonder voorspelbaar. De komst van een mogelijke GRB in onze omgeving zou dan ook miljoenen jaren van tevoren te voorzien moeten zijn, wat het volgens Leonard en Bonnell zinvol maakt om na te denken over tegenmaatregelen.

En de tegenmaatregel die de twee bedacht hebben vergt een enorme voorbereidingstijd. Eerst zou een forse planeetoïde ontmanteld moeten worden, en veranderd in een brede schijf van materiaal, met minstens de diameter van de aarde en een dikte van pakweg een kilometer. Die schijf zou vervolgens met grote nauwkeurigheid in een precies gekozen baan rond de zon moeten worden gebracht. In die baan zou de schijf precies op het voorspelde moment van de GRB (vereiste is wel dat die explosie met een foutmarge van niet meer dan enkele dagen voorspeld kan worden) tussen de gammaflits en de aarde in staan, en ons zo tegen de schadelijke straling beschermen. Er bestaan banen rond de zon waarin een dergelijke schijf ongeveer een maand lang tussen ons en de GRB in zou kunnen blijven, de hele tijd meebewe-

gend met de aarde. Aldus zou de schijf niet alleen bescherming bieden tegen de aanvankelijke flits van gammastraling maar ook tegen het langdurige bombardement met kosmische stralingsdeeltjes. Maar vanzelfsprekend hoort een dergelijke onderneming voorlopig thuis in het rijk van de sciencefiction.

Dossier Dreiging uit de ruimte

Inslagen

Iedereen heeft wel eens een meteor of "vallende ster" gezien. Dat

lichtverschijnsel, een snel bewegende flits van licht aan de nachthemel, wordt veroorzaakt door een klein brokje steen of metaal uit de ruimte dat met grote snelheid in onze atmosfeer terechtkomt en daar verbrandt door de wrijving met de hogere luchtlagen.

De brokjes heten "meteoroiden" of "meteorieten" (sommige auteurs behouden de tweede term voor voor objecten die op de aardbodem zijn terechtgekomen). Ze kunnen ten opzichte van de aarde bewegen met snelheden tot meer dan zestig kilometer per seconde (meer dan tweehonderd-duizend kilometer per uur) al zijn er ook die veel trager bewegen, afhankelijk van de banen van de aarde en de meteoroiden rond de zon. Wanneer een meteoriet met zijn hoge snelheid doorheen de ijle bovenste luchtlagen beweegt, dan wordt door de wrijving zo'n hoge temperatuur opgewekt dat een wolk lucht rond het object geïoniseerd wordt, en dat is verantwoordelijk voor het lichtschijnsel van de meteor.

Vermoed wordt dat vele meteoroiden afkomstig zijn van kometen, of van botsingen tussen planetoïden. Enkele keren per jaar beweegt de aarde door een wolk van meteoroiden, achtergelaten in het pad van een komeet. Op dergelijke momenten zijn er veel meer meteorieten te zien dan anders, en spreekt men van een meteorietzwerm of meteorietregen. De bekendste jaarlijks terugkerende meteorietzwerm is die van de "Perseïden" rond 12 augustus.

Al stelt men zich soms voor dat een dergelijke zwerm bestaat uit een heuse "regen"

van steentjes, in werkelijkheid bevinden de meteoroiden zich in de zwerm nog op grote afstanden van elkaar, en lopen satellieten in de ruimte slechts weinig gevaar om door een meteoroiden getroffen te worden. Wat niet wil zeggen dat het nooit gebeurt. In de nacht van 11 op 12 augustus 1993 werd Olympus, de Europese experimentele communicatiesatelliet, getroffen door een plots defect waarbij het standregelingssysteem volledig ontregeld werd. Dat leidde er uiteindelijk toe dat de satelliet moest worden opgegeven. De meest waarschijnlijke verklaring is dat Olympus getroffen werd door een meteoriet van de Perseïden-zwerm. Bij de inslag werd een wolkje plasma gevormd, dat kortsluiting veroorzaakte in de elektronica van het standregelingssysteem.

Satellieten worden geregeld geraakt door zeer kleine micrometeorietjes die hoogstens een tijdelijke storing veroorzaken, maar botsingen met grotere objecten, bijvoorbeeld met de afmeting van een kiezelsteentje of zelfs maar een zandkorrel, zijn zeer zeldzaam. Bij zeer intense zwermen, zoals de Leoniden, die slechts elke 33 jaar gedurende enkele jaren optreden, en dan alleen nog maar enkele uren of dagen rond 17 november, maken de vluchtvaarders zich soms zorgen over de mogelijke effecten op satellieten. Bij de jongste Leoniden-stormen werden



↑ Een meteor of "vallende ster" wordt veroorzaakt doordat een klein steentje uit de ruimte opbrandt in onze atmosfeer. (NASA)

telkens een aantal satellieten in een "veilige modus" gebracht om voorbereid te zijn op mogelijke inslagen. De ruimtetelescoop Hubble werd weg gedraaid van de richting waaruit de Leoniden kwamen, om de kwetsbare spiegel van het observatorium te beschermen tegen inslagen. Intelsat, de uitbater van een reeks communicatiesatellieten schatte in 1998 de kans op 1 op 500 dat een van de geostationaire communicatiesatellieten getroffen zou worden door de Leoniden.

De meeste meteoroiden bereiken zeer zelden de grond; ze desintegreer volledig lang voor ze de aarde bereiken. Dat geldt trouwens ook voor de meteoroiden die niet tot een zwerm behoren en in eenzaamheid een eigen baan beschrijven door het zonnestelsel, en die op elke willekeurige dag van het jaar de aarde kunnen bereiken. Maar af en toe gebeurt het dat een stuk puin uit de ruimte voldoende groot en stevig is opdat een deel ervan de vuurtocht door de atmosfeer zou overleven. Geregeld gebeurt het dat wat in de ruimte nog één enkel object is, bij de val doorheen de atmosfeer in stukken breekt, met als eindresultaat dat er meerdere kleine meteorieten op de grond terechtkomen.

Voor zover met zekerheid bekend is, hebben neerstortende meteorieten nog nooit schade

van betekenis veroorzaakt. Er is geen enkel betrouwbaar gedocumenteerd geval bekend van een mens die zou overleden zijn als gevolg van een meteorietinslag, al was er enkele jaren geleden wel het geval van een jongeman in Uganda die aan het hoofd geraakt werd door een kleine meteoriet, maar er met niet meer dan een schaafwonde vanaf kwam. Er zijn wel al enkele gevallen bekend van dieren die gedood werden door meteorieten. In 1490 zouden in de provincie Shanxi in China tienduizend mensen gedood zijn door "vallende stenen" – er is echter geen bewijs dat het werkelijk over meteoriet-inslagen ging.

Materiële schade komt vaker voor. Al zijn er soms ook bepaalde compensaties: een Amerikaan wiens oude tweedehandse auto getroffen werd door een meteoriet, met als gevolg een gat in de motorkap, is er in elk geval een stuk beter van geworden: hij kon zowel de meteoriet als het autowrak voor een flinke som verkopen.

Zouden meteoriet-inslagen gevaarlijk kunnen zijn als een zeer groot object, met een diameter van tientallen of honderden meters, of zelfs van meerdere kilometers, op aarde zou neerstorten? Er zijn verscheidene klassen

van hemellichamen van die grootte in het zonnestelsel, waarmee de aarde eventueel in botsing zou kunnen komen. Er zijn allereerst de planetoïden of asteroïden of kleine planeten. Dat zijn objecten waarvan de meeste ongevaarlijk rond de zon draaien op banen tussen Mars en Jupiter, maar waarvan er ook een aantal in de buurt van de aarde kunnen komen. De meeste bestaan vooral uit gesteente en/of metalen. Hun afmetingen lopen uiteen van die van een kei tot bijna duizend kilometer (al is er van de allergrootste geen enkele die in de buurt van de aarde kan komen). Daarnaast zijn er kometen. Dat zijn objecten die vooral uit ijs bestaan. Ze beschrijven langgerekte banen rond de zon, en vele ervan kunnen in de buurt van de aarde komen. Ze hebben diameters tot enkele kilometers of in uitzonderlijke gevallen tientallen kilometers.

Toengoeska

Er is in historische tijden maar één goed gedocumenteerd geval bekend van een inslag van een relatief groot object. Het deed zich voor in 1908 in Siberië. Op 30 juni van dat jaar leek het boven de streek van de Toengoeska-rivier heel even of het einde van de wereld aangebroken was. Een

enorme ontploffing, acht kilometer hoog in de lucht, verwoestte in één klap een gebied zo groot als een Belgische provincie. De knal was honderden kilometer ver te horen. Overal ter wereld gingen de wijzers van de seismometers aan het trillen. De opgewekte aardbeving was naar schatting van magnitude vijf op de schaal van Richter. Na de knal woedden er in de streek wekenlang reusachtige bosbranden. In heel de wereld waren er in de weken nadien merkwaardig gekleurde zonsondergangen en "witte nachten" te zien, waarschijnlijk veroorzaakt door stofdeeltjes hoog in de atmosfeer. Gelukkig was de Toengoeska-streek in 1908 nog vrijwel onbewoond.

Door de moeilijke politieke toestand in Rusland in de jaren na de ontploffing, met eerst de Eerste Wereldoorlog, vervolgens de Russische revolutie en daarna de burgeroorlog, duurde het bijna twintig jaar voor er een wetenschappelijke expeditie naar de plaats van de explosie gestuurd kon worden. Pas in 1927 betrad een expeditie voor het eerst deze *ground zero*. Ze trof er een onvoorstelbare ravage aan. In een gebied van meer dan twintigduizend vierkante kilometer waren alle bomen geveld door de kracht van de ontploffing. Grote stukken woud waren verkoold. Merkwaardigerwijs lagen alle geveldde bomen in een soort "radieel" patroon, weg gericht van het centrum van de explosie. Het was duidelijk dat ze door de schokgolf in de lucht omver waren geblazen. Helemaal in het midden van het patroon stonden enkele stammen rechtop, ontdaan van hun takken.

Wat de expeditie niet terugvond, waren stukken van de meteoriet zelf. Blijkbaar was de meteoriet door zijn ontploffing in de lucht volkomen verpulverd, en de op de grond gevallen kleine fragmenten waren twintig jaar na datum niet gemakkelijk meer terug te vinden of te herkennen. Dat er geen krater werd aangetroffen of stukken van een meteoriet werden teruggevonden,

→ Het door de Toengoeska-explosie vernielde gebied, vergeleken met de stad Londen. (NASA)

↓ Gevelde bomen in de streek van Toengoeska, jaren na de inslag. (NASA)





← Meteor Crater in Arizona, waar 50000 jaar geleden een kleine planetoïde is ingeslagen. (NASA)

vijftien tot veertig megaton, dat is meer dan duizend tot tweeduizend keer de kracht van de atoombom die in 1945 Hiroshima verwoeste. In één klap werd 175 miljoen ton rots opgeworpen. Vele kilometers in de omtrek viel het opgeworpen puin terug naar beneden. Dertig ton zware rotsblokken werden meer dan een kilometer ver geslingerd.

De vuurbol die onmiddellijk voor de inslag te zien was, moet volgens berekeningen tot tienduizend keer helderder zijn geweest dan de zon, voor een waarnemer in Arizona. Er waren vijftigduizend jaar geleden nog geen menselijke bewoners in Amerika. Maar de meteor moet de ogen verblind hebben van ontelbare dieren die hem zagen. Arizona werd in die tijd onder meer bewoond door mammoeten, bizonen en mastodonten. Volgens berekeningen moet de explosie alle grote dieren gedood hebben tot op een afstand van zes tot twaalf kilometer, en ernstige verwondingen veroorzaakt hebben tot op 24 kilometer. Waarschijnlijk ging de explosie gepaard met een vuurbal en een paddestoelwolk, te vergelijken met die van de zwaarste nucleaire explosies. Op enkele kilometers van het punt van inslag moet de schokgolf een amplitude van honderd keer de normale atmosferische druk gehad hebben, en moet de windsnelheid zijn opgelopen tot tweeduizend kilometer per uur. Tot op veertig kilometer van de inslag moeten er winden met orkaankracht opgewekt zijn. De aardbeving die door de impact veroorzaakt werd, moet een kracht van 5,5 op de schaal van Richter gehad hebben. Waarschijnlijk duurde het zowat een eeuw voor het ecosysteem in de streek zich hersteld had. Vermoedelijk zijn de gevolgen van de inslag in Arizona beperkt gebleven tot de streek zelf. De explosie was niet krachtig genoeg om zijn effecten over de hele wereld te laten voelen.

De dinosaurus-killer

Een inslag van een nog veel zwaarder kaliber dan die in Toengoeska en Arizona moet zich

leidde ertoe dat het Toengoeska-incident lange tijd in een sfeer van geheimzinnigheid baadde. Het gaf aanleiding tot allerlei wilde speculaties, als zou de explosie veroorzaakt zijn geweest door een buitenaards ruimtetuig of door een vroege geheime atoomproef. Die speculaties maakten meer nuchter ingestelde wetenschappers dan weer sceptisch over het hele incident, waardoor het een tijdlang door de wetenschap genegeerd werd. De jongste jaren is er evenwel een consensus gegroeid dat de explosie wel degelijk veroorzaakt werd door een (natuurlijke) inslag van buitenaardse oorsprong. Wel werd nog gediscussieerd over het feit of het neerstortende object een stuk van een komeet was, dat vooral uit ijs bestond of een kleine planetoïde die vooral uit gesteente bestond. De jongste tijd gaat de heersende opinie eerder in de richting van een steenachtige planetoïde.

Volgens recente schattingen zou het object dat boven Toengoeska in de atmosfeer binnendrong een diameter van vijftig tot honderd meter gehad hebben, met een meest waarschijnlijke waarde rond zestig meter. Het drong de atmosfeer binnen vanuit het zuidoosten (dat wordt afgeleid uit het precieze patroon van de omgevallen bomen) en veroorzaakte een explosie met de kracht van vijftien megaton TNT, te vergelijken met de allerzwaarste types thermonucleaire bommen (waterstofbommen).

Als een inslag zoals die boven Toengoeska zich vandaag zou voordoen boven een dicht bevolkt gebied zoals België, dan zou de explosie miljoenen mensenlevens kunnen kosten. De ontploffing zou een grote stad in één klap van de kaart kunnen vegen.

Meteor Crater

Een explosie van een nog grotere kracht dan die boven Toengoeska moet zich veel langer geleden, naar schatting zo'n vijftigduizend jaar, al eens hebben voorgedaan in Arizona in de Verenigde Staten. De oorzaak was toen een kleine planetoïde met een andere samenstelling dan de schuldige van het Toengoeska-incident. De planetoïde die Arizona trof was rijk aan metalen (in het bijzonder ijzer) en daardoor harder en steviger, met als gevolg dat ze wél de grond bereikte in plaats van in de lucht te ontploffen. Op de plaats waar ze insloeg bevindt zich nu de beroemde "Meteor Crater" (vroeger ook bekend als de Barringer Crater), op 55 kilometer van Flagstaff, Arizona, niet ver van de Grand Canyon.

De planetoïde die de krater vormde, had waarschijnlijk een diameter van enkele tientallen meters. Ze kwam met een snelheid van naar schatting veertigduizend kilometer per uur de atmosfeer binnen en veroorzaakte toen ze de grond raakte een explosie van

→ Luis Alvarez, een van de bedenkers van de hypothese dat de dinosaurussen uitgeroeid zijn door een planetoïde-inslag.



veel langer geleden al eens hebben voorgedaan boven wat vandaag de kust van het Mexicaanse schiereiland Yucatan is. Naar alle waarschijnlijkheid heeft die inslag, zowat 65 miljoen jaar geleden, een einde gemaakt aan het tijdperk van de dinosaurïers. De ontdekking van die inslag vormt een interessante episode in de geschiedenis van de wetenschap.

Bij paleontologen was al lang bekend dat 65 miljoen jaar geleden niet alleen de dinosaurussen uitstierven (of bijna alle dinosaurussen, de jongste jaren werd duidelijk dat de hedendaagse vogels nakomelingen zijn van een dinosaurustak die het overleefd heeft), maar ook een groot gedeelte van de overige fauna en flora op de planeet, zowel op het land als in de zee. De overgang die 65 miljoen jaar geleden plaatsvond, wordt de Krijt-Tertiair-grens (KT-grens) genoemd, omdat hij het einde markeert van het geologische tijdperk van het krijt, en het begin van het tertiaire tijdperk.

De oorzaak van het uitsterven van de dinosauriërs en vele van hun tijdgenoten was lange tijd een raadsel. Er werd onder meer gedacht aan een verandering van het klimaat (mogelijk veroorzaakt door grote vulkaanuitbarstingen) en aan puur biologische factoren zoals een toegenomen concurrentie van

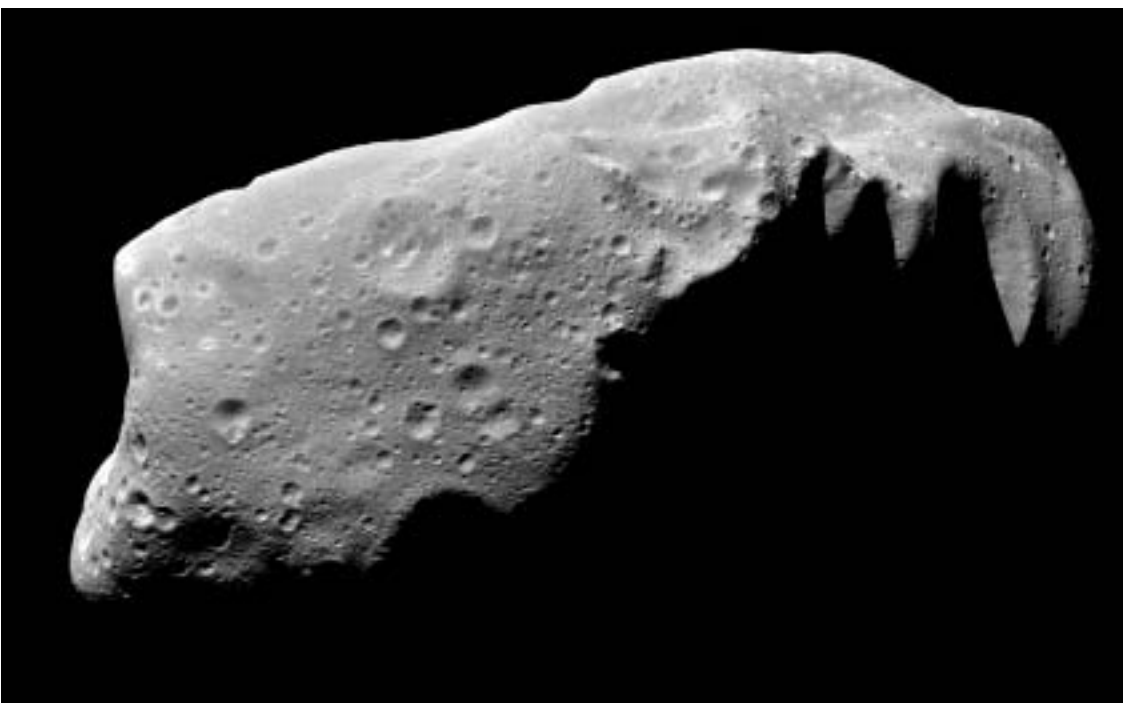
nieuwe diergroepen zoals de zoogdieren (al zou dat niet verklaren waarom naast de dinosauriërs nog duizenden andere soorten van de aardbodem verdwenen). De meeste paleontologen waren ook van mening dat het verdwijnen van de soorten bij het einde van het Krijttijdperk een geleidelijk proces was geweest dat wellicht miljoenen jaren had geduurd.

Verdacht iridium

In 1980 publiceerde Nobelprijswinnaar natuurkunde Luis W. Alvarez een artikel in het hoog aangeschreven Amerikaanse vakblad Science waarin hij argumenteerde dat de dinosaurussen waarschijnlijk waren uitgestorven als gevolg van de inslag van een tien kilometer grote planetoïde of komeet. Alvarez en zijn mede-auteurs, onder wie zijn zoon, de geoloog Walter Alvarez, vermoedden dat de inslag van een dergelijke planetoïde of komeet een planeetomspannende donkere stofwolk zou opwerpen, die maanden- of zelfs jarenlang het zonlicht zou tegenhouden en de aarde in een ijsskoude winternacht zou dompelen. Bij gebrek aan zonlicht zou de fotosynthese van planten stilvallen. Bij gebrek aan planten zouden eerst de plantenetende dieren uitsterven, en vervolgens ook de vleesetende.

De voornaamste aanwijzing voor hun hypothese vonden Alvarez en zijn collega's in een merkwaardig iridiumhoudend grondlaagje. Nabij de middeleeuwse stad Gubbio in Italië hadden Alvarez en zijn medewerkers een interessant kleilaagje aangetroffen, precies tussen de grondlagen van het einde van het Krijt en het begin van het Tertiair. De kalksteen precies onder de ongeveer een centimeter dikke kleilaag bevatte overvloedig veel fossielen van plankton uit de Krijtperiode, terwijl de kalksteenlaag boven het kleilaagje slechts weinig en slecht gevormde fossielen bevatte. De onderzoekers redeneerden dat de kleilaag zelf iets te maken had met de periode waarin het uitsterven gebeurd was. Toen ze de kleilaag onderzochten, stelden ze vast dat ze uitzonderlijk hoge concentraties iridium bevatte.

Iridium is een materiaal dat op aarde zeer zeldzaam is. Het iridium dat voorkomt is voornamelijk afkomstig uit de ruimte, meer bepaald van meteorieten (al kan er soms ook iridium vrijkomen uit vulkanisme). Het is bekend dat meteorieten vaak relatief



← De planetoïde Ida, gefotografeerd door de ruimtesonde Galileo. (NASA)
 ↓ De planetoïde Gaspra, een typische bewoner van de 'planetoïdengordel' tussen Mars en Jupiter, gefotografeerd door de ruimtesonde Galileo. (NASA)





← De gevolgen van de botsing van komeet Shoemaker-Levy 9 met de planeet Jupiter: reusachtige donkere vlekken op de planeet. (NASA)

grote hoeveelheden iridium bevatten. In de meeste aardse gesteenten ligt het iridiumgehalte tussen 0,1 en 0,3 deeltjes per miljard. In sedimenten uit de tijd van de KT-overgang in Gubbio lag het gehalte volgens Alvarez rond 9 deeltjes per miljard, dus dertig tot negentig keer hoger dan normaal. Een inslaande planetoïde die veel iridium bevatte zou dat materiaal gemakkelijk over de hele wereld hebben kunnen verspreiden. Alvarez en zijn collega's vermoedden dat de kleilaag waarschijnlijk was ontstaan door neerslag van de reusachtige stofwolken die bij de inslag van de planetoïde en de daaropvolgende explosie in de atmosfeer waren geworpen. De totale hoeveelheid iridium in de KT-grenslaag over de hele wereld wordt geschat op 360.000 ton.

De inslag-hypothese van Alvarez kreeg onmiddellijk een enorme weerklank, zowel in de wetenschappelijke wereld als in de populaire media. De theorie botste op zeer veel weerstand bij paleontologen en experts op het gebied van het uitsterven van de dinosauriërs. Soms werd de controverse per-

soonlijk en kreeg Alvarez zelfs het verwijt naar het hoofd geslingerd dat hij zich als fysicus maar beter bij de fysica kon houden.

Maar de aanwijzingen die de inslaghypothese bevestigden namen snel in aantal toe. Waar er aanvankelijk maar op enkele plaatsen een iridium-exces was gevonden in de KT-grenslaag, werden dat al snel tientallen plaatsen verspreid over de hele wereld. Het iridium is nu al op meer dan tweehonderd plaatsen aangetroffen, op land, in riviersedimenten en onder de zeebodem. Blijkbaar was de tijdelijke hoge iridium-concentratie een wereldwijd verschijnsel. Er werd ook op vele plaatsen zogenaamd 'geschokt kwarts' aangetroffen. Dat zijn kleine stukjes kwarts die de sporen dragen van enorme druk waaraan ze ooit blootgesteld zijn geweest, een druk die alleen maar optreedt bij zware inslagen, bij atoomontploffingen en misschien bij extreem zware vulkanische explosies. Paleontologen begonnen intussen in de fossielen van levensvormen aan het eind van het Krijt aanwijzingen te vinden dat het uitsterven wel degelijk heel plots was gebeurd, en niet geleidelijk, zoals voorheen gedacht werd. De schijn van geleidelijkheid werd gewekt door de schaarste aan fossielen, die ertoe kon leiden dat een bepaalde soort al een tijd voor zijn échte verdwijnen niet meer leek voor te komen.

Nemesis

Op een bepaald moment nam het enthousiasme voor de inslaghypothese zo'n vormen aan dat gespeculeerd werd over herhaalde inslagen die dan andere massale uitstervingen zouden verklaren. In de leeftijdsverdeling van kraters op de Maan meenden sommige wetenschappers zelfs aanwijzingen te zien voor het bestaan van een regelmatige perio-

diciteit in de inslagen. Elke dertig miljoen jaar ongeveer zou de aarde (en de Maan) blootgesteld zijn aan een verhoogd risico op rampzalige komeet- of planetoïde-inslagen. Er werd zelfs een verklaring bedacht voor die periodiciteit: de zon zou geen geïsoleerde ster zijn, maar een compagnon hebben, een kleine zwakke ster op heel grote afstand, die altijd aan de aandacht van de astronomen was kunnen ontsnappen. De compagnon zou elke dertig miljoen jaar een baan rondom de zon beschrijven en daardoor op regelmatige tijdstippen de zogeheten *Oortwolk* van kometen op grote afstand van de zon verstoren. Telkens zouden dan vele miljoenen kometen uit de Oortwolk in de richting van de centrale delen van het zonnestelsel geslingerd worden, waar ze onder meer met onze planeet in botsing konden komen. De hypothetische begeleider van de zon, de ster die dood en verderf zaaide, kreeg ietwat voorbarig alvast een naam mee: *Nemesis*.

Maar al snel werd duidelijk dat de aanwijzingen voor de periodiciteit van de inslagen veel te zwak waren om geloofwaardig te zijn. Er waren wellicht meerdere inslagen geweest, maar voor zover kon worden nagegaan, kwamen die op willekeurige momenten in de geschiedenis van onze planeet. De bewijzen voor de andere inslagen zijn overigens zwakker dan die voor de KT-inslag. De "op een na beste" is de mogelijke inslag aan het einde van het Perm, 250 miljoen jaar geleden, waarbij negentig procent van de toenmalige soorten uitstierven.

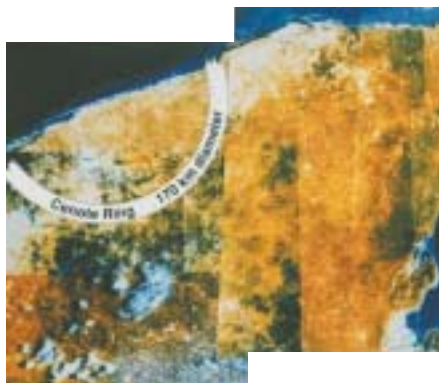
De krater van Chicxulub

Al bleef er ook voor de KT-inslag een zwak punt in de argumentatie: waar was de krater die een tien kilometer grote planetoïde of komeet geslagen zou moeten hebben in de aardkorst? Een dergelijk object, dat met een snelheid van mogelijk meer dan honderdduizend kilometer per uur (dertig kilometer per seconde) inslaat op de aarde, zou een krater met een diameter tussen honderd en twee-



← De kern van komeet Halley, gefotografeerd door de Europese ruimtesonde Giotto. (ESA)

↓ Kaart die de ligging van de ondergrondse krater van Chicxulub weergeeft. (NASA)



honderd kilometer moeten maken, en een dergelijke krater, met de juiste ouderdom van 65 miljoen jaar, was nergens op aarde te zien.

Dat was niet meteen een bewijs dat de inslaghypothese verkeerd was. Het was niet ondenkbaar dat de krater in 65 miljoen jaar door erosie grotendeels verdwenen was, en eventueel bedekt met nieuwe aardlagen. En er was nog een mogelijkheid: de krater kon door de platentektoniek op onze planeet (het fenomeen dat aan de basis ligt van de continentverschuiving) in de diepte van de mantel van de planeet meegesleept zijn en daardoor van het aardoppervlak verdwenen. Als de planetoïde bijvoorbeeld ingeslagen was in het westen van de Stille Oceaan, dan zou de krater in de loop van de jaren geleidelijk meer naar het westen zijn opgeschoven, en uiteindelijk de diepte zijn ingedoken, mee met de bodem van de Stille Oceaan, waar die onder Azië schuift. Een originele hypothese was dat de planetoïde precies in een mid-oceanische rug zou zijn ingeslagen, en daar zo veel vulkanische activiteit had veroorzaakt dat er van de oorspronkelijke krater niets meer was te merken.

Maar al het zoeken was overbodig, want de krater van de KT-inslag was al lang ontdekt, toevallig rond dezelfde tijd dat Alvarez de inslag-hypothese publiceerde. Alleen was bijna niemand daarvan op de hoogte. De krater was lange tijd aan de aandacht ontsnapt omdat hij begraven lag onder grondlagen van een kilometer dik.

De allereerste aanwijzingen waren al opgedoken in de jaren vijftig toen geologen van de Mexicaanse oliemaatschappij Pemex allerlei geofysische anomalieën begonnen op te merken in een cirkelvormig gebied op de kust van het Mexicaanse schiereiland Yucatan. In de hoop dat het gebied olie zou kunnen opleveren voerde Pemex proefboringen uit die bevestigden dat er een vreemde ronde structuur in de bodem aanwezig was, waar op het aardoppervlak niets van te zien was. De structuur werd genoemd naar het plaatsje Chicxulub, waar de eerste proefboringen hadden plaatsgevonden. Het woord betekent in de plaatselijke Maya-taal "staart van de duivel".

Pemex ging tot in de jaren zeventig door met boringen en de Chicxulub-structuur begon er in de ogen van Mexicaanse geologen steeds merkwaardiger uit te zien. In de structuur, die een diameter van 140 tot 200 kilometer leek te hebben, werden onder meer honderden meters dikke lagen verbrijzeld gesteente aangetroffen, die leken te wijzen op catastrofale of explosieve omstandigheden. Rond 1980 kwamen de Pemex-geologen Penfield en Camargo tot het besluit dat de Chicxulub-structuur wellicht een reusachtige begraven inslagkrater was (al bleef een vulkanische oorsprong voor de cirkelvormige structuur voorlopig ook nog tot de mogelijkheden behoren). De ontdekking van de waarschijnlijke krater kreeg geen wijde bekendheid.

Begin jaren negentig kwamen Amerikaanse onderzoekers onder leiding van Hildebrand toevallig de oude Mexicaanse gegevens op het spoor. Zij realiseerden zich snel dat de begraven krater van Chicxulub wel eens de lang gezochte KT-inslagkrater kon zijn. Laboratoriumonderzoek van bij de boringen opgehaalde stalen toonde ondubbelzinnig aan dat de Chicxulub-structuur bij een inslag ontstaan moest zijn. Metingen van lokale afwijkingen van de zwaartekracht en van afwijkingen van het aardmagnetisme

wezen allemaal op een begraven cirkelvormige structuur. De stratigrafie toonde aan dat de krater dateerde van de KT-overgang. Op verscheidene plaatsen in Amerika gevonden kleine bolletjes glas, die bestonden uit gestold materiaal dat bij de impact in de vorm van gloeiende druppeltjes was weggeslingerd, bleken precies dezelfde samenstelling te hebben als de bodem bij Chicxulub. De ouderdom van de krater werd met heel nauwkeurige argon-datering vastgesteld op 65,07 miljoen jaar, met een foutmarge van slechts honderdduizend jaar. Een ouderdom die binnen de foutmarge exact gelijk was aan de beste bepalingen van de ouderdom van de KT-grens.

Nog steeds niet helemaal duidelijk is de juiste omvang van de Chicxulub-krater. De ondergrondse structuur lijkt te bestaan uit een reeks concentrische ringen, zodat er verschillende interpretaties mogelijk zijn betreffende de diameter van de eigenlijke oorspronkelijke krater. De waarden die in de literatuur geciteerd worden lopen uiteen van 140 tot niet minder dan 300 kilometer. De krater ligt gedeeltelijk onder water en gedeeltelijk onder het land, met een middelpunt ongeveer op de kust van Yucatan. De meest nabije stad is de kustplaats Progreso.

De vernietiging van Amerika

De inslag 65 miljoen jaar geleden moet een ramp van onvoorstelbare omvang geweest zijn. Volgens onderzoekers Peter Schultz van de Brown University en Steven D'Hondt van de University of Rhode Island, kwam de planetoïde de atmosfeer binnen vanuit het zuidoosten, in een hoek van maar twintig tot dertig graden met het aardoppervlak. Ze leiden dat af uit het patroon van vervormingen van de bodem rond Chicxulub.

Als ze gelijk hebben, dan heeft de richting waarin de planetoïde kwam aangestormd ertoe bijgedragen om de ramp nog erger te maken. De schuine inslag wierp enorme

hoeveelheden gesmolten rots omhoog, voornamelijk in noordwestelijke richting. Daardoor werd een groot deel van het Noord-Amerikaanse continent in één klap verwoest. De explosie bij de inslag sloeg een tijdelijke krater van tientallen kilometers diep. Naar schatting werd niet minder dan tweehonderdduizend kubieke kilometer rots gesmolten en opgeworpen.

Waarschijnlijk heeft ook de samenstelling van de aardbodem waar de planetoïde insloeg, bijgedragen tot de ernst van de catastrofe. De bovenste twee kilometer van de bodem bestonden er uit calciumcarbonaat en calciumsulfaat. Wanneer dergelijke rotsen aan de extreme hitte van een inslag blootgesteld worden, dan komen enorme hoeveelheden koolstofdioxide vrij, en sulfaat-aërosolen, die leiden tot zure regen en smog. Dat moet de gevolgen van de stofwolk die de atmosfeer verduisterde alleen maar erger gemaakt hebben. Ongetwijfeld zijn er ook wereldwijd reusachtige bosbranden aangestoken door neervallende stukken gloeiend gesteente. Daarbij moet zeer veel donkere rook in de atmosfeer terecht zijn gekomen waardoor het zonlicht verduisterde.

Bij de branden moet er ook zeer veel koolstofdioxide in de atmosfeer terecht zijn gekomen. Gevolg daarvan moet geweest zijn dat er, nadat het stof was opgetrokken en de maandenlange koude winternacht ophield, een uitzonderlijk warme periode aanbrak. De grote hoeveelheid koolstofdioxide in de atmosfeer moet immers geleid hebben tot een zeer sterk broeikaseffect, dat de aarde voor vele jaren in een uitzonderlijke hittegolf deed baden. Het dient evenwel gezegd dat er over de precieze gevolgen die de inslag op het klimaat heeft gehad, nog geen duidelijkheid bestaat. Ook de precieze oorzaak van het verdwijnen van de dinosaurussorten is nog niet echt opgehelderd. De ramp was zo verschrikkelijk dat de wetenschappers de keuze lijken te hebben uit een heel menu van mogelijke oorzaken voor het

uitsterven, van de sterke klimaatwijzigingen tot een gebrek aan planten om te eten als gevolg van de duisternis, of zelfs vergiftiging van het milieu door schadelijke stoffen in de lucht.

Nog niet alle wetenschappers zijn ervan overtuigd dat de dinosaurussen zijn uitgestorven als gevolg van de planetoïde-inslag. Een slinkende groep blijft volhouden dat ze door een andere oorzaak verdwenen zijn. Mogelijk waren de dino's al op de terugweg, en hebben ze door de inslag alleen maar de genadeklap gekregen. Misschien was de inslag maar één van de factoren die een eind aan hun heerschappij gemaakt hebben. Maar er wordt nauwelijks nog getwijfeld aan de realiteit van de inslag 65 miljoen jaar geleden.

Inslagen buiten categorie

Op onze planeet zijn er weinig grote inslagkraters, als gevolg van erosie en andere processen die kraters doen verdwijnen of onzichtbaar maken. Maar op onze Maan worden kraters niet "uitgewist" door geologische processen, en daar is duidelijk te zien wat voor een gevaarlijke plaats het zonnestelsel is, of tenminste geweest is. Talloze reusachtige inslagkraters getuigen van vele duizenden inslagen die nog zwaarder moeten zijn geweest dan de KT-inslag op aarde. De meeste daarvan hebben plaatsgevonden in het verre verleden, kort na het ontstaan van het zonnestelsel, zowat vier miljard jaar geleden. De Maan, en dus ook de aarde, moet toen blootgesteld zijn geweest aan een waar bombardement met puin uit de ruimte. Het zonnestelsel was toen nog vol met losse brokstukken, overgebleven na de vorming van de planeten. Toen het meeste puin verdwenen was, luwde die storm. Maar enkele relatief jonge kraters op de Maan tonen aan dat er in de miljarden jaren sindsdien toch ook nog af en toe een grote inslag plaatsvond. Als de Maan regelmatig geraakt werd, dan moet de aarde, die door haar afmetingen en haar sterkere

zwaartekracht een veel groter doelwit vormt, zeker ook voltreffers te verwerken hebben gekregen.

Een inslag "buiten categorie" moet helemaal bij het begin van de geschiedenis van onze planeet hebben plaatsgevonden. Wetenschappers vermoeden dat de maan gevormd werd bij een botsing tussen de pas ontstane aarde en een andere planeet, ongeveer met de afmetingen van de planeet Mars. Bij de botsing werd zeer veel materiaal in de ruimte geslingerd; later verzamelde zich dat in een baan rond de aarde tot de maan.

Wat zouden de gevolgen zijn van een inslag van een echt buitengewoon grote planetoïde? Een overzichtsartikel dat in 1999 verscheen in het blad Nature vat de impact op onze planeet samen, afhankelijk van de omvang van de planetoïde die ons treft. De lijst, waarin de nadruk ligt op de "zwaarste kalibers", beschouwt de KT-inslag als een "middelgroot" incident. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen acht categorieën:

- 1. "Heel kleine inslagen"**, door een object groter dan honderd meter, vergelijkbaar met de Toengoeska-explosie in 1908. De inslag heeft grote lokale gevolgen, en beperkte gevolgen in de rest van de wereld, vooral in hetzelfde halfrond waar de inslag plaatsvond. De atmosfeer wordt stoffiger. De globale effecten op het leven blijven beperkt, al merken de auteurs op dat het stof in de atmosfeer zorgt voor romantische zonsverduisteringen, die het geboortecijfer doen stijgen.
- 2. "Kleine inslagen"**, door een object groter dan een kilometer. Over de hele wereld zou de atmosfeer gedurende maanden veel stof bevatten. De fotosynthese van planten wordt onderbroken. Vele individuen sterven, maar het uitsterven van soorten blijft beperkt. De menselijke beschaving wordt bedreigd.
- 3. "Middelgrote inslagen"**, door een object dat minstens tien kilometer groot is, vergelijkbaar met de KT-inslag 65 miljoen jaar geleden. Een dergelijke inslag ontwricht in

de hele wereld het klimaat en veroorzaakt grote temperatuurschommelingen. De helft van de soorten sterft uit.

4. "Grote inslagen", door een object dat groter is dan dertig kilometer (zoals bijvoorbeeld de komeet Hale-Bopp). Een dergelijke inslag is waarschijnlijk niet meer voorgekomen in de jongste twee miljard jaar. De inslag zou het aardoppervlak en de atmosfeer verhitten tot duizend graden en het leven op de continenten uitroeien.

5. "Extra grote inslagen", door een object dat groter is dan zeventig kilometer. Een dergelijke inslag zou de bovenste honderd meter van de oceanen doen koken en het meeste leven op de planeet uitroeien.

6. "Reusachtige inslagen", door een object dat groter is dan tweehonderd kilometer. De inslag zou de oceanen vaporiseren. Alleen diep begraven ondergrondse micro-organismen kunnen de inslag misschien overleven. Een dergelijke inslag is de jongste vier miljard jaar niet meer voorgekomen.

7. "Kolossale inslagen", door een object dat groter is dan zevenhonderd kilometer. Een dergelijke inslag zou de aardkorst doen smelten en alle leven uitroeien.

8. "Superkolossale inslagen", door objecten groter dan tweeduizend kilometer. Een dergelijke inslag zou de hele planeet doen smelten. Voor zover bekend is dit in de geschiedenis van de aarde maar één keer gebeurd, 4,45 miljard jaar geleden, bij de inslag waarbij de maan gevormd werd.

Angst voor inslagen

Zou een reusachtige inslag van een planeetoïde of een komeetkern opnieuw kunnen gebeuren en de menselijke beschaving of zelfs de hele menselijke soort van de aardbodem wegvegen? Astronomen weten dat er vele planeetoïden en kometen zijn in banen die in de buurt van de aarde komen, en dat er in het verleden af en toe ernstige botsingen zijn voorgekomen. Moeten we ons dan zorgen beginnen te maken?

De dreiging van planeetoïde-inslagen drong in elk geval al door tot de verbeelding. Verscheidene Hollywood-films bespeelden het thema. De film *Deep Impact* laat zien hoe een amateurastronoom een komeet ontdekt die nadien op een botsingskoers met de aarde blijkt te liggen. Een poging om het bedreigende hemellichaam met nucleaire wapens te vernietigen is maar gedeeltelijk succesvol, en een inslag in de Atlantische Oceaan veroorzaakt een vloedgolf die een groot deel van de Amerikaanse oostkust vernietigt. In "Armageddon" wordt de aarde bedreigt door een onrealistisch reusachtige planeetoïde die "zo groot is als Texas". Een team koene helden wordt uitgestuurd om ze onschadelijk te maken, terwijl goed gerichte salvo's kleinere planeetoïden alvast steden als Parijs en New York treffen.

Het is de afgelopen jaren meerdere keren gebeurd dat in de media ten onrechte gemeld werd dat een grote planeetoïde op de aarde zou inslaan. Telkens lag er wel een echte melding aan ten grondslag van de ontdekking van een planeetoïde die inderdaad mogelijk met de aarde in botsing zou kunnen komen. Maar telkens werd die melding door de media te alarmistisch geïnterpreteerd. Een sprekend voorbeeld is het geval van planeetoïde 1997 XF11. In 1998 voorspelden astronomen dat die planeetoïde in 2028 tegen de aarde kon botsen. Enkele dagen later moest die voorspelling weer ingetrokken worden omdat er betere gegevens beschikbaar werden. Intussen had de pers al ruimschoots bericht over de veronderstelde dreiging.

Om dergelijke debacles in de toekomst te vermijden propageren enkele experts het gebruik van een schaal die moet aanduiden hoe ernstig de dreiging van een potentieel gevaarlijke planeetoïde is. De schaal heet de "schaal van Turijn" of de "Torino-schaal", en ze is ontworpen naar analogie met de welbekende schaal van Richter. De getalwaarden in de schaal van Turijn zijn zo gekozen dat ze in de publieke perceptie min of meer

kunnen overeenstemmen met overeenkomstige waarden op de schaal van Richter. Ze is ontworpen door Richard Binzel van het Massachusetts Institute of Technology (MIT), en besproken op een vergadering van de Internationale Astronomische Unie (IAU) in Turijn (vandaar de naam). De schaal van Turijn deelt de inslagdreigingen in elf categorieën in.

De elf categorieën van de schaal van Turijn zijn nog eens samengebracht in vijf ruimere groepen die als volgt gekarakteriseerd worden (met een bijhorende symbolische "alarmkleur"):

0 ("wit"): Zonder waarschijnlijke gevolgen

1 ("groen"): Dient zorgvuldig in het oog te worden gehouden

2-4 ("geel"): Zorgwekkend

5-7 ("oranje"): Bedreigend

8-10 ("rood"): Zekere botsingen

Alle meldingen van mogelijke toekomstige botsingen van de aarde met een planeetoïde die er tot nu toe geweest zijn, zouden slechts 0 of 1 gescoord hebben op de schaal van Turijn.

Een realistische inschatting van het gevaar

Om te komen tot een realistische inschatting van het gevaar op verwoestende inslagen, zullen we allereerst moeten nagaan hoeveel potentieel gevaarlijke objecten van verschillende omvang er zijn in ons deel van het zonnestelsel, en hoe groot de kans is dat een daarvan binnen afzienbare tijd met onze planeet in botsing komt. De objecten die een baan beschrijven die ze af en toe in de buurt van de aarde brengt, worden *Near Earth Objects* (NEO's) genoemd.

De meeste planeetoïden (objecten die voor een groot deel uit gesteente of metalen bestaan) draaien rond de zon in banen tussen die van Mars en Jupiter, maar er zijn er ook in andere banen, bijvoorbeeld in de

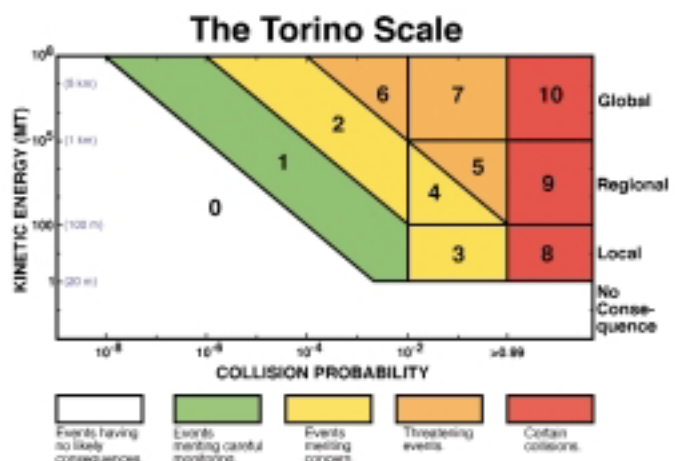
buurt van de aarde. Meestal zijn hun banen van een vrij "regelmatig" type: ongeveer cirkelvormig, en met dezelfde draairichting rond de zon als de planeten (tegen de klok in voor een waarnemer die het zonnestelsel bekijkt van hoog boven de noordpool). Het gevolg daarvan is dat zo'n planetoïde, als ze in de buurt van de aarde komt, met een vrij kleine relatieve snelheid ten opzichte van onze planeet beweegt (wat een eventuele botsing minder erg maakt).

Kometen (grotendeels uit ijs bestaand) draaien rond de zon in sterk elliptische (uitgerekte) banen. Van sommige kometen is de draairichting tegengesteld aan die van de planeten (of "retrograad"), waardoor ze met een grote relatieve snelheid ten opzichte van de aarde kunnen bewegen, wat een eventuele botsing extra erg maakt. Hun lichte samenstelling (vooral ijs) maakt een botsing dan weer minder erg, in vergelijking met planetoïden van steen of metaal.

Een belangrijk onderscheid is dat tussen kortperiodieke en langperiodieke kometen. De eerste draaien rond de zon in enkele jaren of enkele decennia (de komeet van Halley, die elke 76 jaar rond de zon draait, is hier een voorbeeld van). Het verste punt op hun baan rond de zon ligt niet al te ver weg (op enkele honderden miljoenen tot enkele miljarden kilometer). Door een lang volgehouden systematisch waarnemingsprogramma moet het mogelijk zijn alle kortperiodieke kometen te inventariseren. Hun beweging kan dan vele decennia van tevoren voorspeld worden, zodat we ruim op tijd gewaarschuwd zijn voor een eventuele botsing. De langperiodieke kometen zijn veel verraderlijker. Ze beschrijven zeer langgerekte banen, en één omloop duurt vele eeuwen, millennia of zelfs nog langer. Als zo'n komeet in het binnenste deel van het zonnestelsel komt en zichtbaar wordt, dan is het steevast de eerste keer dat ze zichtbaar wordt sedert de ontwikkeling van de moderne astronomie. Het is dus steeds

Schaal van *Turijn*

- 0 De waarschijnlijkheid van een inslag is nul, of duidelijk lager dan de kans dat een toevallig (niet voorspeld) object van dezelfde grootte de aarde zal treffen binnen de komende decennia. Deze aanduiding is ook van toepassing op alle objecten die zo klein zijn dat ze weinig kans maken om het aardoppervlak te bereiken als hun pad dat van de aarde zou kruisen (kleine objecten branden doorgaans immers volledig op in de atmosfeer).
- 1 De kans op een botsing is extreem onwaarschijnlijk, ongeveer dezelfde als de kans dat een toevallig (niet voorspeld) object van dezelfde afmeting in de komende decennia de aarde treft.
- 2 Een tamelijk nabije maar niet ongewone ontmoeting. Een botsing is zeer onwaarschijnlijk (kans kleiner dan 1 procent).
- 3 Een nauwe ontmoeting, met een kans op botsing tussen 1 en 99 procent, met een object met een diameter tussen twintig en honderd meter, dat wil zeggen een object dat in staat is lokale verwoestingen te veroorzaken.
- 4 Een nauwe ontmoeting, met een kans van meer dan 1 procent op een botsing die regionale verwoesting kan veroorzaken (objecten tussen honderd meter en een kilometer diameter, de kleinste daarvan met een botsingskans tussen 1 en 99 procent, de grootste met een botsingskans niet veel groter dan 1 procent).
- 5 Een nauwe ontmoeting met een beduidende dreiging van een botsing die regionale verwoesting kan veroorzaken (objecten tussen honderd meter en een kilometer diameter, de kleinste met een botsingskans van bijna 99 procent, de grootste met een botsingskans tussen 1 en 99 procent).
- 6 Een nauwe ontmoeting met een beduidende dreiging van een botsing die een globale catastrofe kan veroorzaken (objecten groter dan een kilometer, met een botsingskans tussen 0,01 en 1 procent).
- 7 Een nauwe ontmoeting, met een extreem beduidende dreiging van een botsing die een globale catastrofe kan veroorzaken (objecten groter dan een kilometer, met een botsingskans tussen 1 en 99 procent).
- 8 Een botsing die lokale verwoesting kan veroorzaken (objecten tussen twintig en honderd meter, met een botsingskans groter dan 99 procent). Dergelijke botsingen gebeuren naar schatting tussen eens in de vijftig jaar en eens in de duizend jaar.
- 9 Een botsing die regionale verwoestingen kan veroorzaken (objecten tussen honderd meter en een kilometer groot, met een botsingskans groter dan 99 procent). Dergelijke botsingen gebeuren naar schatting tussen eens in de duizend jaar en eens in de honderdduizend jaar.
- 10 Een botsing die een globale klimaatcatastrofe kan veroorzaken (objecten groter dan een kilometer, met een botsingskans groter dan 99 procent). Dergelijke botsingen gebeuren minder dan eens per honderdduizend jaar.



→ De telescoop van het Linear-zoekprogramma.

een "nieuwe" komeet, waarvan de baan niet van tevoren bekend was. Als zo'n komeet dan op een botsingskoers blijkt te liggen, kan de waarschuwingstijd heel kort zijn, een of twee jaar of zelfs maar enkele maanden. Bovendien zijn dergelijke langperiodieke kometen vaak erg grote exemplaren, en bewegen ze relatief vaak retrograad of met grote snelheid ten opzichte van de aarde. Planetoïden en kortperiodieke kometen kunnen opgespoord en geïnventariseerd worden, en dat werk is al begonnen, maar langperiodieke kometen zullen altijd een factor van onzekerheid blijven.

De onderzoekers die bezig zijn met het opsporen van NEO's concentreren hun werk momenteel op objecten die groter zijn dan een kilometer. Dat is natuurlijk een vrij arbitraire grens, die voor een deel is ingegeven door wat praktisch haalbaar is (grote objecten zijn nu eenmaal veel gemakkelijker op te sporen dan kleine), maar er wordt toch van uitgegaan dat objecten vanaf een kilometer kunnen leiden tot een wereldwijde ramp die een bedreiging vormt voor de mensheid. Maar natuurlijk moeten we in het achterhoofd houden dat ook kleinere objecten ware catastrofes kunnen veroorzaken, denk maar aan het Toengoeska-incident.

Over het aantal NEO's bestaat op dit moment nog geen duidelijkheid, en ook niet over het aantal NEO's groter dan een kilometer. De meeste experts schatten het aantal objecten groter dan een kilometer op ongeveer duizend (langperiodieke kometen niet meegeteld), maar de onzekerheidsmarge op die schatting is beduidend.

Inslagenexpert Eugene Shoemaker schatte twintig jaar geleden het aantal potentieel gevaarlijke planetoïden groter dan een kilometer op tweeduizend. Hij baseerde zich voor die schatting op tellingen van inslagkraters op de Maan.

Een grondiger analyse door een team onder leiding van David Rabinovitz van de Yale University en Eleanor Helin van het Jet Propulsion Laboratory, gepubliceerd in *Nature*, kwam in januari 2000 uit op ongeveer de helft van dat aantal. Rabinovitz en Helin baseerden hun schatting op de ontdekkingsstatistieken van NEO's door het NEAT-project (zie verder). In juni 2000 publiceerde een internationaal team astronomen in *Science* een schatting die uitkwam op 900 NEO's met een diameter van meer dan een kilometer. Een nog recentere studie door J. Scott Stuart van het MIT Lincoln Observatory, ook gepubliceerd in *Science*, schat het aantal NEO's groter dan een kilometer op 1250.

Wat het totale aantal ook is, er wordt alvast naarstig gezocht naar NEO's. Dat zoeken gebeurt nog niet echt op een systematische of grootschalige manier, en de zoekprogramma's opereren in de marge van het sterrenkundige onderzoek, met budgetten die maar een minieme fractie uitmaken van de totale som die aan ruimteonderzoek wordt besteed. Maar toch worden er momenteel aan een vrij hoog tempo NEO's ontdekt. De Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA heeft zich tot doel gesteld tegen het einde van dit decennium negentig procent van alle NEO's die groter zijn dan een kilometer te ontdekken – al zijn er experts die eraan twifelen of die doelstelling gehaald kan worden met de huidige beperkte budgetten. De belangrijkste zoekprogramma's zijn de volgende:

- **LINEAR** (Lincoln Near Earth Research) gebruikt twee 1-meter- telescopen van de Amerikaanse luchtmacht, op de White Sands Missile Range in Socorro, New Mexico. Het project ging van start in 1998. LINEAR zorgt voor de meeste ontdekkingen van NEO's (vele tientallen per jaar) en daarnaast van vele kometen (er is tegenwoordig bijna onafgebroken wel ergens een 'komeet Linear' te zien aan de hemel).
- **NEAT** (Near Earth Asteroid Tracking) gebruikt een 1,2-meter- telescoop van de

Amerikaanse luchtmacht op het eiland Maui in Hawaï. De telescoop wordt achttien nachten per jaar ingezet om naar NEO's te zoeken.

- **LONEOS** (Lowell Observatory Near Earth Object Search) gebruikt een 60 centimeter- telescoop in Flagstaff, Arizona.
- **Catalina Sky Survey** gebruikt vier telescopen, twee op het noordelijk halfrond en twee op het zuidelijk halfrond. Op het noordelijk halfrond zijn het de 0,7 Catalina- telescoop van het Steward Observatorium en de Mount Lemmon 1,5-meter- telescoop voor opvolgingsobservaties, op het zuidelijk halfrond worden een 0,6-meter en een 1-meter- telescoop gebruikt, beide op het observatorium van Siding Spring.
- **Spacewatch** is het oudste van de NEO-zoekprogramma's. Het ging al in 1984 van start, met de 0,9-meter- telescoop van het Steward-Observatorium op Kitt Peak in Arizona. Eind 2000 werd er een 1,8-meter- telescoop aan toegevoegd, op dezelfde locatie. In tegenstelling tot de andere NEO-zoekprogramma's die grote delen van de hemel scannen op zoek naar bewegende objecten, wordt door Spacewatch voornamelijk "dieper" gezocht, door kleine stukken hemel grondiger af te speuren. Op die manier worden ook kleinere NEO's ontdekt (en daarnaast bijvoorbeeld ook veel Kuiper gordel-objecten in de buurt van Pluto).
- **Spaceguard** is een Japans programma dat gebruik maakt van een 0,5-meter en een 1-meter- telescoop in Bisei in Honshu.

Samen hebben de verschillende zoekprojecten inmiddels al zeshonderd NEO's groter dan een kilometer ontdekt (begin december 2002 was het aantal 638, maar tegen de tijd dat u dit leest zijn er wellicht alweer tientallen bijgekomen). Als ook de objecten kleiner dan een kilometer worden meegeteld, zijn er al meer dan 2100 gevonden.

Als we alleen rekening houden met de objecten die groter zijn dan een kilometer, zijn er dus, afhankelijk van de schatting van het totale aantal, al iets meer of iets minder



dan de helft van de potentieel gevaarlijke objecten ontdekt. Of althans van de objecten van meer dan een kilometer groot; er zijn waarschijnlijk veel grotere aantallen kleinere objecten, die bijvoorbeeld een ramp vergelijkbaar met het Toengoeska-incident zouden kunnen veroorzaken, maar daar wordt momenteel geen rekening mee gehouden.

Bij de ongeveer zeshonderd NEO's van meer dan een kilometer groot die momenteel bekend zijn, is er geen enkele die de komende tijd, voor zover nauwkeurige berekeningen kunnen worden uitgevoerd, tegen de aarde dreigt te botsen. Van die 600 objecten hebben we althans de komende decennia niets te vrezen. Maar de naar schatting nog eens evenveel NEO's die nog niet ontdekt zijn, zouden in principe wel gevaarlijk kunnen zijn. Over de banen van die objecten weten we nog niets. Het is onwaarschijnlijk maar niet onmogelijk dat een ervan momenteel op weg is naar onze planeet. Hoe onwaarschijnlijk het precies is, is een moeilijk te beantwoorden maar belangrijke vraag.

In de hogergenoemde studie van David Rabinowitz en Eleanor Helin (gepubliceerd in januari 2000 in *Nature*), wordt het geschatte totale aantal NEO's die groter zijn dan een kilometer, omgerekend naar een botsingskans met de aarde. Per NEO is de kans op een botsing met de aarde ongeveer 0,5 procent per miljoen jaar. Dat wil dus zeggen dat een typische NEO een grote kans heeft om in tweehonderd miljoen jaar met

Ramingen van het *impactrisico*

Diameter	Explosie	Krater (km)	Interval (jaar)	
75 m	10 tot 100	1,5	1000	Een inslag van deze omvang boven land zou een grote stad kunnen verwoesten.
160 m	100 tot 1000	3	4000	Een inslag in de oceaan kan een tsunami veroorzaken. Boven land kan een dergelijke inslag een grote wereldstad als New York en omgeving vernielen.
350 m	1000 tot 10000	6	16000	Boven zee zou een tsunami opgewekt worden die een hele oceaan treft (bijvoorbeeld alle kusten van de Atlantische oceaan). Boven het vasteland zou een gebied zo groot als België verwoest kunnen worden.
700 m	10000 tot 100000	12	63000	Deze inslag zou België en Nederland geheel vernietigen. Bij een inslag in de oceaan (de meest waarschijnlijke) zouden tsunami's opgewekt worden die op een heel halfrond grote vernielingen zouden veroorzaken.
1,7 km	0,1 tot 1 miljoen	30	250000	Een inslag van deze omvang, zowel op het land als op zee, zou genoeg stof in de atmosfeer werpen om wereldwijd het klimaat zwaar te verstoren. Oogsten zouden mislukken. Tsunami's op zee zouden wereldwijd schade aanrichten. De ozonlaag wordt vernietigd. Bij een inslag op het land zou door de explosie een gebied zo groot als Frankrijk vernietigd worden. Het totale aantal overlijdens wordt op anderhalf miljard geschat.
3 km	1 tot 10 miljoen	60	1 miljoen	Op het land zou een gebied zo groot als India verwoest worden. Over de hele wereld zouden gloeiende brokstukken neerkomen en bosbranden veroorzaken. Het klimaat wordt ernstig verstoord.
7 km	10 tot 100 miljoen	125	10 miljoen	De klimaatverstoring is langdurig. De explosie verwoest een gebied zo groot als Europa. Een massaal uitsterven van soorten is waarschijnlijk.
16 km	0,1 tot 1 miljard	250	100 miljoen	Deze inslag veroorzaakt vrijwel zeker een massaal uitsterven van soorten. Waarschijnlijk wordt de mensheid volledig uitgeroeid.

de aarde te botsen, als hij voldoende lang in dezelfde omgeving van het zonnestelsel zou blijven, wat volgens berekeningen echter niet het geval is. De banen van NEO's zijn meestal weinig stabiel op lange termijn, waardoor ze slechts enkele miljoenen jaren in onze buurt blijven. Er komen echter ook steeds nieuwe NEO's bij (objecten die migreren vanuit andere delen van het zonnestelsel), zodat het verdwijnen van NEO's geen invloed heeft op de berekening van het risico voor de aarde. Uit die gegevens leiden Rabinowitz en Helin af dat de kans op een catastrofale botsing ongeveer 1 procent bedraagt voor het komende millennium. Ruwweg eenmaal per honderd-duizend jaar zou er een object groter dan een kilometer in botsing komen met onze planeet. Kleinere inslagen zouden vaker moeten voorkomen, grotere minder vaak. De volgende tabel geeft een overzicht van

de geschatte inslagkansen voor objecten van verschillende diameters. De tabel is ontleend aan een rapport over het inslaggevaar dat in september 2000 door een groep experts werd opgesteld in opdracht van de Britse regering, het *Report of the Task Force on potentially hazardous Near Earth Objects*.

De eerste kolom geeft de diameter van het object, de tweede de kracht van de explosie uitgedrukt in "megaton TNT" (1 megaton is te vergelijken met de kracht van een typische waterstofbom, de kracht van de Hiroshima-explosie was 0,015 megaton). De derde kolom geeft de diameter van de krater die bij een dergelijke explosie geslagen zou worden en de vierde kolom het gemiddelde interval tussen twee inslagen van de betreffende ernst. Daarna volgt een korte beschrijving van de te verwachten gevolgen.

Uitgaande van de schattingen van de aantallen objecten van verschillende diameters, en van de kansen dat ze met de aarde botsen, en van de schade die ze waarschijnlijk zouden aanrichten, kunnen we proberen uit te rekenen hoe groot het risico voor ons is. Hoe groot is de kans dat mensen overlijden als gevolg van een planetoïde- of komeetinslag? De kans op een grote inslag is weliswaar zeer klein, maar als het dan toch eens gebeurt, vallen er buitengewoon veel doden. Is de waarschijnlijkheid voor een willekeurige mens om te sterven als gevolg van een inslag dan beduidend of verwaarloosbaar?

Volgens David Jewitt van de universiteit van Hawaï is de kans hiertoe ongeveer 1 op 20000 – van dezelfde grootte-orde als de kans om te sterven bij een vliegtuigongeluk. Andere experts betwisten echter dat het risico zo groot zou zijn. Volgens het hogergenoemde Britse rapport zijn de risico's hoger dan de risico's die toelaatbaar zijn volgens de normen die in de nucleaire industrie gelden.

Zijn we weerloos?

Stel dat er een planetoïde of een komeet ontdekt wordt die op weg is naar de aarde. Zouden we dan iets kunnen doen om het gevaar af te wenden, of zijn we weerloos?

Het meest voor de hand liggende idee zou zijn om het object te bestoken met kernraketten. Het is echter zeer de vraag of dat zou helpen. Mogelijk zou daardoor een grote planetoïde in stukken breken, en zouden we in plaats van één grote inslag meerdere kleinere krijgen, en dat zou in sommige gevallen nog erger zijn. Bovendien zouden de inslaande brokstukken dan radioactief zijn. Het is bovendien maar de vraag of kernexplosies veel effect zouden hebben op planetoïden. Er wordt vermoed dat vele planetoïden in feite bestaan uit losse opeenhopingen van afzonderlijke brokken gesteente. Een dergelijke "puinhoop" zou

niet al te veel schade ondervinden van een kernexplosie, hooguit zouden enkele van de brokken nog wat verder verbrijzeld worden.

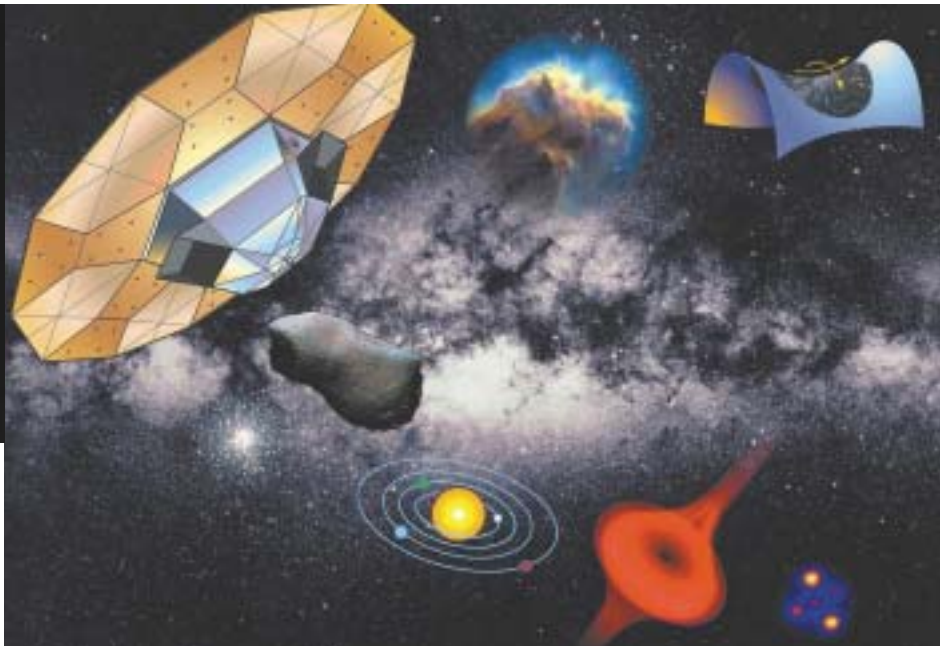
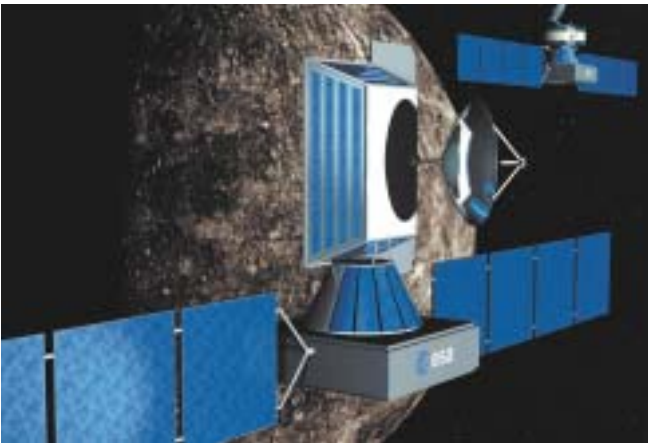
De sleutel tot het afwenden van een inslag bij de huidige stand van de technologie is dat er lang genoeg van tevoren moet worden ingegrepen. Als het gevaar van een inslag tientallen jaren van tevoren onderkend wordt, dan is een kleine stoot of een reeks kleine stootjes tegen het object voldoende om de baan ervan zodanig te veranderen dat het naast de aarde vliegt in plaats van ertegen. Hoe langer van tevoren ingegrepen wordt, hoe kleiner de kracht die nodig is. Er is al voorgesteld om een planetoïde met een reeks kleine explosies uit haar baan te duwen, ofwel door er kleinere planetoïden of andere projectielen gericht tegen te laten botsen. Er kan zelfs aan gedacht worden om aan een gevaarlijk object op zonne-energie of kernenergie werkende motoren te bevestigen, die dan jarenlang een bescheiden kracht kunnen uitoefenen om de baan van het object te wijzigen. Een voorstel dat binnen de NASA is geformuleerd houdt in dat een onbemand ruimtetuig langdurig naast de gevaarlijke planetoïde of komeet zou vliegen, en er een kracht zou op uitoefenen met een sterke laserbundel die een deel van het oppervlak doet verdampen. Die methode zou als voordeel hebben dat er geen landing nodig is.

Een zwak punt in de meeste voorgestelde methoden om de aarde te beschermen, blijven de onverwachts verschijnende langperiodieke kometen. Omdat die slechts kort (wellicht in vele gevallen niet meer dan een jaar) voor het voorziene moment van de botsing ontdekt worden, ontbreekt de noodzakelijke tijd om actie te ondernemen. Bovendien zijn dergelijke langperiodieke kometen vaak zeer grote exemplaren, met een kern van meer dan tien kilometer diameter, en kunnen ze een zeer grote relatieve snelheid hebben ten opzichte van de aarde, waardoor ze met veel snelheid en dus veel energie inslaan op de aarde.

Waarnemingen nodig

Het is wellicht voorbarig om vandaag al plannen te maken voor planetaire defensiesystemen tegen gevaarlijke planetoïden of kometen. Maar er is wel dringend nood aan meer en betere waarnemingen. Voor niet meer dan pakweg vijfhonderd miljoen euro (dat is minder dan de opbrengst van de film "Armageddon") moet het mogelijk zijn om snel een goede inventaris te maken van alle grote NEO's. Als we die hebben, dan worden de probabilistische argumenten uit bovenstaande paragrafen vervangen door zekerheid. Hoogstwaarschijnlijk de zekerheid dat er géén object op een botsingkoers is, en heel misschien de zekerheid dat er snelle actie moet worden ondernomen. Vandaag is het probleem dat we nog steeds volkomen onverwachts getroffen zouden kunnen worden door een van de naar schatting honderden nog niet ontdekte NEO's. Het is vandaag nog steeds zeer goed mogelijk dat een aanstormende planetoïde pas enkele weken of dagen van tevoren ontdekt wordt, wanneer het te laat is om nog veel te ondernemen. Het is zelfs niet uitgesloten dat we zonder enige waarschuwing geraakt worden, aangezien de bestaande zoekprogramma's niet volstaan om op een systematische manier de hele hemel te scannen op zoek naar bedreigende NEO's.

Het wegnemen van die onzekerheid kan met betrekkelijk weinig inspanning. Met het huidige netwerk van telescopen hoopt de NASA rond 2008 al negentig procent van de grote NEO's geïnventariseerd te hebben. Binnen enkele decennia zou de inventaris van de objecten groter dan een kilometer dan vrijwel compleet kunnen zijn, en zouden we een flinke fractie van de kleinere objecten kennen. Met een kleine extra inspanning – enkele bijkomende telescopen – moet de inventaris al veel vroeger volledig kunnen worden. Als dat zoekprogramma wordt aangevuld met een permanente 'uitkijk' om ons te waarschuwen voor nieuwe langperiodieke kometen die onverwachts verschijnen, dan



↑ De toekomstige Europese ruimteverkenner BepiColombo die een bezoek zal brengen aan de planeet Mercurius, kan ook planetoiden ontdekken in het binnenste deel van het zonnestelsel, waar ze vanop de aarde moeilijk zichtbaar zijn. (ESA)

→ De toekomstige Europese satelliet Gaia (links op de afbeelding), die vooral ontworpen is om de Melkweg gedetailleerd in kaart te brengen, zal ook grote aantallen planetoiden ontdekken. (ESA)

kunnen we redelijk gerust zijn dat ons niet op een dag het lot van de dinosauriërs te wachten staat.

Ook instrumenten die in de eerste plaats voor andere doeleinden gebouwd worden, kunnen nuttige diensten bewijzen bij het opsporen van potentieel gevaarlijke NEO's. Astronomen overwegen bijvoorbeeld de bouw van een grote telescoop (in de zes-meter-klasse of groter) die gebruikt zou worden voor systematische "surveys" van de hemel. Een dergelijk instrument zou in de marge van zijn eigenlijke werk ook grote aantallen NEO's kunnen ontdekken. Een grote telescoop kan kleinere objecten waarnemen, of hij kan objecten waarnemen terwijl ze zich op grotere afstand van de aarde bevinden. Ook observatoria in een baan om de aarde en zelfs interplanetaire sondes kunnen meehelpen bij het opsporen van gevaarlijke planetoiden en kometen. Voorbeelden van mogelijke toekomstige ruimtetuigen waarvoor al de mogelijkheid is geopperd om ze (naast andere opdrachten) ook te benutten voor het zoeken naar NEO's zijn de ESA-projecten *Gaia* en *BepiColombo*. *Gaia* is een astrometrische satelliet, de opvolger van *Hipparcos*, die van grote aantallen sterren herhaaldelijk zeer nauwkeurig de positie moet meten, en die *en passant* ook de positie van zeer veel NEO's zou meten. *BepiColombo* is een sonde die naar de planeet Mercurius gestuurd zal worden.

Doordat ze vanuit een ander gezichtspunt het zonnestelsel bekijkt, zou ze NEO's kunnen opsporen die door hun baan vanop aarde gemakkelijk aan de aandacht ontsnappen.

De NASA heeft al voorgesteld om in een nog later stadium, rond 2020 of later, een netwerk van automatische observatoria in de ruimte uit te bouwen, die systematisch en met heel grote gevoeligheid het zonnestelsel zouden afspeuren, en die alle gevaarlijke NEO's zouden detecteren, ook de relatief kleine exemplaren waar momenteel nauwelijks naar gezocht wordt. Een dergelijk netwerk zou ons ook de garantie geven dat we gevaarlijke langperiodieke kometen op het vroegst mogelijke tijdstip ontdekken, en dat er dus zeker geen kostbare tijd verloren gaat om te proberen het gevaar ervan af te wenden.

Op kortere termijn doet het Britse *Report of the Task Force on potentially hazardous Near Earth Objects* onder meer de volgende aanbevelingen:

- Er moet op het zuidelijk halfrond een nieuwe moderne telescoop in de 3-meter-klasse komen die uitsluitend voor het zoeken naar NEO's gebruikt wordt.
- Er moet optimaal gebruik worden gemaakt van bestaande of voor andere doeleinden geplande telescopen en satellieten, die naast hun gewone werk ook een bijdrage kunnen leveren aan het NEO-onderzoek, zoals de satelliet *Gaia*.

- Er moet een reeks kleine en goedkope onbemande ruimtesondes naar NEO's gestuurd worden om hun samenstelling en fysische eigenschappen te onderzoeken.
- Het zoeken naar gevaarlijke NEO's moet internationaal gecoördineerd worden, en er moet voor een stabiele financiering gezorgd worden.

Recent, en als gevolg van de aanbevelingen uit het Britse rapport, besliste de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO) een workshop te organiseren over het thema NEO's in het kader van haar *Global Science Forum*. Deze workshop vond plaats van 20 tot 22 januari 2003 bij ESA (ESRIN) te Frascati, Italië. Hij had tot doel een analyse te maken van de huidige stand van zaken van onze kennis over de gevaren verbonden aan NEO's en om aanbevelingen te formuleren naar de regeringen van de OESO-lidstaten inzake de systematisering van waarnemingen en de mogelijkheden voor het afwenden van het gevaar. Een belangrijke doelstelling van de workshop was ook om, voor de eerste keer, de overheidsdiensten verantwoordelijk voor de civiele bescherming te betrekken bij het thema van de NEO's, bijvoorbeeld met het oog op het verwerven van extra financiering voor het NEO-onderzoek en de waarnemingen. De DWTC namen samen met de Koninklijke Sterrenwacht van België en het Ministerie van Landsverdediging deel aan deze workshop.

Dossier Dreiging uit de ruimte

✦ Het Amerikaanse ruimtestation Skylab, waarvan stukken zijn teruggevallen in Australië. (NASA)

Houdt ook de ruimtevaart gevaren in voor aardbewoners? In Space Connection nr. 30 is al uitvoerig ingegaan op de problematiek van het ruimteafval in een baan om de aarde. Dit ruimtepuin bestaat onder meer uit defecte en niet meer gebruikte satellieten, uit brokstukken van ontplofte ruimtetuigen, uit in een baan achtergebleven onderdelen van lanceerraketten en zelfs uit door astronauten verloren werktuigen. Allemaal ongewenste objecten die in een baan rond de aarde draaien. Maar dit ruimtepuin is vooral een probleem voor de ruimtevaart zelf, niet zozeer voor de aardbewoners.

Gevaren van de ruimtevaart

Een klein stukje ruimtepuin kan door zijn grote snelheid gemakkelijk een satelliet onklaar maken als het ermee in botsing komt, zoals gebeurd is met de Franse satelliet *Cérise*, die getroffen werd door een stuk van een Ariane-raket. Regelmatig wordt het internationale ruimtestation in een lichtjes andere baan gebracht om een aankomend stuk ruimtepuin te ontwijken.

Maar voor ons, op het aardoppervlak, stelt al dat ruimtepuin doorgaans geen probleem. Als het neerstort naar de aarde (wat met elke satelliet in een niet al

te hoge baan onvermijdelijk vroeg of laat gebeurt als gevolg van de wrijving met de uiterste allerhoogste atmosferlagen), brandt het meestal helemaal op in de atmosfeer.

Zelfs volledige satellieten of zelfs hele ruimtestations die terugvallen naar de aarde stellen zelden grote problemen, vooral wanneer ze nog tot op het laatste moment bestuurbaar blijven. Zo werd in 2001 met succes het grote Russische ruimtestation Mir teruggehaald naar de aarde. Mir werd gericht naar een onbewoonde zone in het zuiden van

de Stille Oceaan. Volgens berekeningen van experts moet het grootste deel van het ruimtestation opgebrand zijn, terwijl er toch enkele grote stukken metaal het aardoppervlak bereikt zouden moeten hebben. Dat is echter gebeurd op zee, ver van alle eilanden en scheepvaartroutes, en het is door niemand geobserveerd. Als er nog stukken van Mir overblijven, dan liggen ze nu verspreid over een honderden kilometers groot gebied op de bodem van de oceaan. Ook de grote Amerikaanse gamma-satelliet *Compton Gamma Ray Observatory* werd met succes

boven de Stille Oceaan terug naar de aarde gehaald.

Het loopt echter niet altijd zo perfect volgens plan. Begin 2002 keerde de Amerikaanse wetenschappelijke satelliet *Euve* (Extreme Ultraviolet Explorer), een observatorium voor verultraviolette straling uit het heelal, terug naar de aarde. Nadat door de NASA achtereenvolgens de Indische Oceaan, het Amazonewoud en de Perzische Golf genoemd waren als plaatsen waar de brokstukken van de satelliet zouden neerkomen, bleek het uiteindelijk de woestijn



← De lancering van de ruimtesonde Cassini met aan boord een energiebron die werkt met plutonium. (NASA)

van Egypte te worden. Voor zover bekend hebben de stukken van Euve (als er al de grond bereikt hebben) geen schade aangericht.

Een vroeger ruimtestation, het reusachtige Amerikaanse Skylab, kwam niet zo netjes zoals gepland terug naar de aarde als Mir. De NASA had het in 1973 gelanceerde Skylab, dat een uitvloeisel was van het Apollo-maanlandingsprogramma, in een baan om de aarde willen houden tot de ingebruikname van de ruimtependel. De baan van het ruimtestation begon weliswaar al te verlagen, als gevolg van atmosferische wrijving, maar de NASA hoopte dat shuttles het ruimtestation zouden kunnen bezoeken en de baan ervan weer opkrikken.

Het ruimtependelprogramma had evenwel vertraging, waardoor de eerste shuttle pas in 1981 gelanceerd kon worden, jaren later dan oorspronkelijk gepland. Bovendien zorgde de hoge zonneactiviteit voor een onvoorziene opzwellen van de hoogste atmosferelagen van onze planeet, waardoor het ruimtestation meer wrijving ondervond dan verwacht, en dus sneller begon te dalen. Skylab keerde uiteinde-

lijk op 11 juli 1979 onbestuurd terug in de atmosfeer. De brokstukken die niet opbrandden in de atmosfeer kwamen voornamelijk in de Indische Oceaan terecht, maar er vielen er ook enkele in Australië, gelukkig zonder schade aan te richten.

Veel ernstiger was het incident met de Russische militaire satelliet Kosmos 954. Op 24 januari 1978 stortte die neer boven het noorden van Canada, meer bepaald boven de North West Territories. De satelliet had een compacte kernreactor aan boord. Bij haar val werd radioactief materiaal verspreid over een groot gebied. De Canadese overheid zette een zoekactie op het getouw om zo veel mogelijk radioactieve brokstukken te verzamelen en in veiligheid te brengen. Het zoeken duurde maanden en kostte naar schatting 14 miljoen dollar, een bedrag waarvan Canada later zo'n drie miljoen dollar als schadevergoeding terugkreeg van de toenmalige Sovjet-Unie.

Twee leden van een zeskoppige groep avonturiers die op trektocht waren in de streek, kwamen in contact met het radioactieve materiaal. Ze vonden een krater in het ijs met daarin stukken geblakerd metaal. Een van de mannen raakte een van de brokstukken aan met zijn hand (in een handschoen). Toen de twee korte tijd later terugkwamen in hun kampplaats, kregen ze van de anderen die het nieuws over Kosmos 954 langs de radio vernomen hadden, te horen wat er aan de hand

was. Ze kregen het advies om niet dichterbij dan driehonderd meter bij de brokstukken te komen. Gelukkig bleek het aangeraakte stuk slechts zeer licht radioactief te zijn. Later werden door de zoekteams brokstukken aangetroffen die veel gevaarlijker waren. Een ervan zond genoeg straling uit om een mens in twee uur te doden.

De hier besproken voorbeelden zijn maar enkele van de vele satellieten die sinds het begin van het ruimtevaarttijdperk zijn teruggevallen naar de aarde. Tot nu toe zijn er voor zover bekend nog nooit menselijke slachtoffers gevallen bij het neerkomen van satellietbrokstukken (evenmin als bij het neerkomen van natuurlijke meteorieten).

Kernenergie in de ruimte

De jongste jaren is de controverse opnieuw opgelaaid over de toepassing van nucleaire technologie in de ruimte, en wordt er vaak herinnerd aan Kosmos 954.

Naar aanleiding van het Cassini-project waren er vooral in de VS regelmatige protesten. Cassini is een Amerikaans-Europees onbemande sonde die momenteel op weg is naar de planeet Saturnus. Europa heeft een kleinere sonde geleverd, Huygens, die door het Cassini-moederschip wordt meegedragen naar Saturnus en die een zachte landing moet maken op de Saturnusmaan Titan. Op weg naar Saturnus is Cassini een keer dicht langs de aarde gepasseerd om van de zwaartekracht van onze planeet een extra zetje

te krijgen. Dat maakte het mogelijk om de ruimtesonde met een lichtere (en dus goedkopere) raket te lanceren.

Cassini wordt van energie voorzien door een zogeheten RTG (radioisotope thermoelectric generator), een soort "nucleaire batterij". Het is een toestel waarin een radioactief materiaal (in het geval van Cassini gaat het om plutonium) warmte afgeeft, die dan benut wordt om elektriciteit op te wekken. Het gaat dus niet om een kernreactor.

Tegenstanders van het project vreesden dat het plutonium uit de RTG zou kunnen vrijkomen en in de atmosfeer verspreid worden, ofwel als er bij de lancering iets verkeerd zou lopen, ofwel bij de passage van Cassini langs de aarde. Een van de bekendste woordvoerders van het protest, dat voor het overige vooral gedragen werd door lokale milieuverenigingen uit Florida, was de fysicus Michio Kaku. Volgens de critici was er een te grote kans op een navigatiefout bij de nauwe passage langs de aarde, zodat het risico bestond dat Cassini met zijn nucleaire lading in de atmosfeer terecht zou komen. Volgens de NASA was de foutmarge op het manoeuvre miniem en de kans op een ongeluk verwaarloosbaar.

Noch bij de lancering op 15 oktober 1997, noch bij de passage van Cassini langs de aarde op 18 augustus 1999, liep er iets verkeerd. Later heeft de navigatieblunder van de NASA



← Het Russische ruimtestation Mir, dat zonder schade aan te richten is teruggevallen naar de aarde. (NASA)

bij de *Mars Climate Orbiter*, die in plaats van in een baan om de planeet te komen, erop neerstortte, evenwel nieuwe vragen doen rijzen over de betrouwbaarheid van precisie manoeuvres in de ruimte.

In het begin van het ruimtevaarttijdperk leek het bijna een vaststaand feit dat de toekomst van de ruimte nucleair zou zijn. Maar de ontwikkeling van nucleaire ruimtevaarttechnologie begon (vooral in het Westen) tegen het einde van de jaren zestig al te stagneren, toen duidelijk werd dat na het Apollo-tijdperk de budgetten voor grote ruimteprojecten sterk zouden slinken, en toen er een steeds sterkere protestbeweging tegen kernenergie ontstond. In de VS werd onder meer de ontwikkeling van de voor interplanetaire reizen bedoelde nucleaire motor *Nerva* stopgezet.

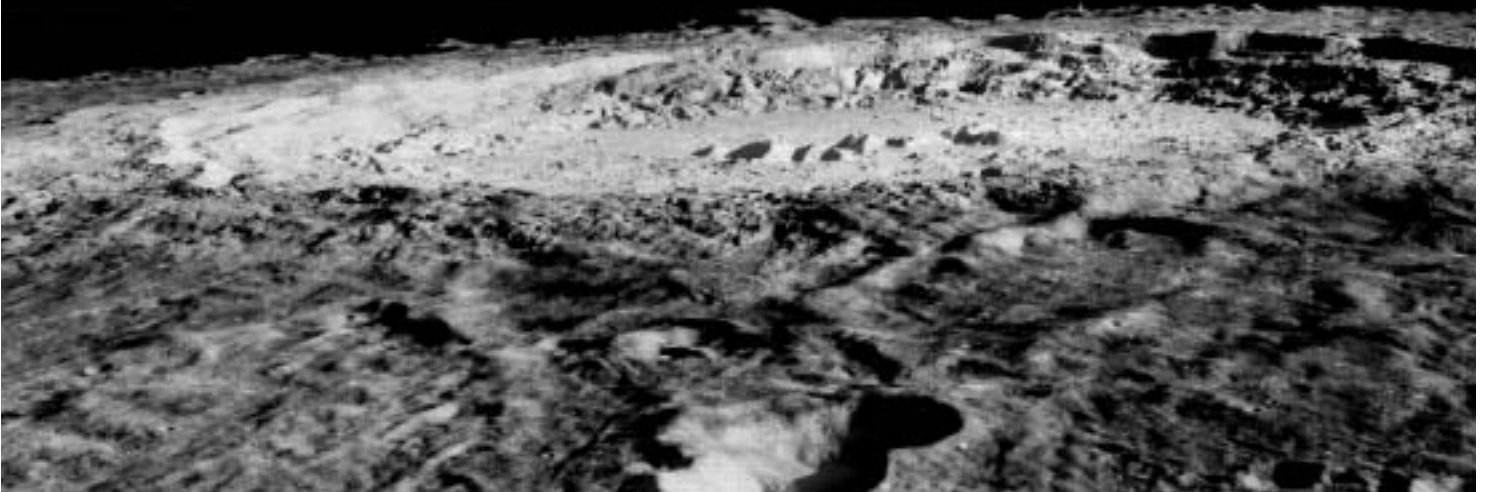
Maar de jongste tijd lijkt er een revival van de nucleaire ruimte-technologie begonnen. In het NASA-budget voor 2003 dat onlangs werd voorgesteld door de regering van president George W. Bush, is geld voorzien om te beginnen met een grootschalig ontwikkelingsprogramma voor nieuwe nucleaire krachtbronnen. Gedacht wordt onder meer aan een nieuwe generatie RTG's, en aan compacte kernreactoren. Een van de toepassingen wordt de "nucleair-elektrische propulsie", waarbij de energie van de kernreactor wordt gebruikt om een ionenbundel te versnellen en uit het ruimtetuig weg te schieten, om het aan te drijven. Het is een variant van de al gebruikte zonne-elektrische propulsie, (zie *Space Connection nr. 37*) met hetzelfde principe maar waarbij zonnepanelen de energie leveren om de ionenbundel te versnellen. Onder meer

de sonde *Deep Space 1* die vorig jaar de komeet Borelly bezocht, was aangedreven door zonne-elektrische propulsie. Ook de Europese onbemande maanverkenner *Smart-1* krijgt een dergelijke aandrijving.

Met nucleair-elektrische propulsie zou een ruimtesonde ook in de buitenste delen van het zonnestelsel kunnen opereren, waar de zonnestraling niet intens genoeg is voor het gebruik van zonnepanelen. Een dergelijke aandrijving zou toelaten om de buitenste planeten in een veel kortere tijd te bereiken dan met de hedendaagse chemische raketten die een sonde alleen bij de lancering versnellen. Of anders zou het mogelijk worden om bijvoorbeeld een sonde in een baan rond de planeet Pluto te brengen, in plaats van er alleen maar met hoge snelheid voorbij te vliegen.

Een andere bron van ongerustheid in verband met ruimtevaart, en een bijkomende impuls voor de nucleaire ruimtetechnologie, is de ontwikkeling van de militaire ruimtevaart. Vooral in de VS wordt momenteel luidop nagedacht over ruimtetuigen met gevechtscapaciteiten. Bijvoorbeeld satellieten met een aandrijving die hen toelaat meerdere keren van baan te veranderen, die ingezet zouden kunnen worden om vijandelijke satellieten te vernietigen. Nucleaire energiebronnen zouden ook voor dergelijke "gevechtssatellieten" van pas komen. Een nog meer onrustwekkende toepassing zijn satellieten met stralingswapens die bedoeld zijn om doelwitten in de atmosfeer of op de grond te treffen. Daar werd al aan gedacht in de periode van *Star Wars* of het *Strategic Defense Initiative* onder president Reagan in de jaren tachtig van de vorige eeuw, maar het idee kent de jongste jaren een comeback. Er wordt in de VS al volop gewerkt aan een zeer krachtige gevechtslaser die in een Boeing 747 geplaatst moet worden, en waarmee het bijvoorbeeld mogelijk moet zijn om vanop grote afstand vertrekkende vijandelijke raketten uit te schakelen. Een laser in een satelliet, aangedreven door een nucleaire energiebron, zou dan een logische volgende stap zijn, denkbaar voor een volgende generatie anti-raketsystemen, na de "ballistic missile defense"-systemen met vanop de grond gelanceerde projectielen die nu in de VS ontwikkeld worden.

Maan *te koop*



(NASA)

Sinds enkele jaren verspreiden bepaalde bedrijven op het internet initiatieven die de weg hebben geëffend voor een innoverende handel. De marktvooruitzichten zijn in ieder geval rooskleurig: het verkopen van stukjes van het maanoppervlak. Voor enkele dollars word je eigenaar van een groot terrein op de maan, Mars of Venus. Voor de meer welgestelden onder ons, is de aankoop van een hemellichaam in zijn geheel zelfs geen droom meer.

Op de website www.lunarembassy.com worden eigendomstitels aangeboden voor een bedrag van 35 tot 40 euro per acre (1 acre = iets meer dan 4.000 m²). Ze worden door het Franse bedrijf *LuneImmo* gecommmercialiseerd. Vergeleken met de grote wereldsteden zijn deze prijzen wel matig maar toch lijkt het boerenbedrog. Op de website voorzagen de initiatiefnemers evenwel dat alles juridisch onderbouwd is om bij de kandidaat-kopers de laatste twijfel weg te nemen. Aan bod komen de fundamentele vraagstukken betreffende de wet die van toepassing is inzake de toe-eigening van hemellichamen, het mogelijke beroep tegen de NASA in geval van landing op een privé-eigendom enz. De *Ambassadeurs* (zo laten de vertegenwoordigers van dit bedrijf zich graag noemen) hebben zelfs het lef om hun

klanten aan te sporen elk ander initiatief inzake buitenaardse grondaankoop te melden "om zo de nodige gerechtelijke stappen te zetten".

Hun juridische verantwoording houdt uiteraard geen steek. Niet alleen baseren zij zich op grove leugens, maar lappen zij ook de algemene principes van het internationaal recht en zelfs de courante rechtsregels aan hun laars...

Een van die principes is dat niemand rechten kan overdragen die hij niet bezit. Iets waarvan men geen eigenaar is kan niet worden verkocht, iets waarvan men het gebruik niet heeft kan niet worden verhuurd enz. Volgens het klassieke burgerlijk recht kan de eigendom waarvan men houder is op twee

manieren worden verworven:

- hetzij via oorspronkelijke weg : een nieuw recht wordt gecreëerd in hoofde van de eigenaar;
- hetzij via afgeleide weg : een bestaand recht wordt door een andere persoon aan hem overgedragen.

Wat de maan betreft zou een oorspronkelijke wijze van verkrijging de bezetting kunnen zijn (in de betekenis van het internationaal recht), dat wil zeggen voor een Staat een grondgebied bezetten en er de soevereiniteit over opeisen. Er is geen sprake meer van "eigendom", maar veeleer van territorialiteit. Bij de opeenvolgende maanreizen van de Amerikanen is er echter geen enkele soortgelijke opeising geweest, althans niet officieel en terecht: sinds de VN-resoluties van 1963 wordt, in aansluiting op de lancering van de eerste Spoetnik zes jaar eerder, het principe van niet-toe-eigening en van niet-opeising van soevereiniteit over de kosmische ruimte (met inbegrip van de hemellichamen), met name door bezetting, bekrachtigd door het internationaal recht. Meer nog, het Verdrag tot regeling van de activiteiten van de Staten inzake onderzoek en gebruik van de kosmische ruimte, met inbegrip van de maan en andere hemellichamen (het zogeheten Ruimteverdrag),

(NASA)



opgesteld op 27 januari 1967, bevestigt dat principe. In de rechtsleer wordt dat in de meeste gevallen beschouwd als een regel uit het gewoonterecht die geldt voor de gehele internationale gemeenschap. Vanwaar komt derhalve de verworven en nadien door LuneImmo verkochte eigendom? Het antwoord hierop is nogmaals terug te vinden op de website:

"In 1980, an American called Dennis Hope, now known as the Head Cheese, claimed the Moon and all other planets and moons in the solar system. (...)

Our (sales) exclusivity for the United Kingdom and Ambassadorship has been authorized by Dennis M. Hope, who filed a declaration of ownership for Earth's Moon and the planets Mars, Venus, Mercury, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune, Pluto as well as their respective moons, on November 22 1980. This declaration for ownership was initially filed at the San Francisco County offices and then filed with the U.S.A., U.S.S.R. and the General Assembly of the United Nations. A copy of this declaration is included with every property purchased.

On this basis, we have purchased the land

from Dennis Hope in good faith and in turn are selling it to you in good faith."
(uittreksel van de website)

In dit geval verwijzen naar de goede trouw getuigt van lef. Die uitleg heeft als doel het goedgelovige publiek te bedotten en stelt ons juridisch-economische systeem ter discussie. Als je 's morgens wakker wordt en aanspraak wilt maken op de Everest, stuur je een brief naar de Secretaris-generaal van de Verenigde Naties en word je zo eigenaar van het dak van de wereld...

Het hoofdargument van de *Lunar Embassy* om de wettelijkheid van haar commerciële activiteiten te staven is evenwel slim bedacht, hoewel de specialisten van het internationaal recht het gemakkelijk kunnen ontcrachten, wat hierna gebeurt...

Het Ruimteverdrag van 1967 is een instrument van internationaal recht dat de Staten een reeks principes en verplichtingen oplegt inzake onderzoek en gebruik van de ruimte en de hemellichamen. In de bewijsvoering van Lunar Embassy richten die bepalingen (net als die van de Verklaringen van de Verenigde Naties) zich enkel tot de Staten en hun regering. Zij zijn niet rechtstreeks van toepassing in de interne rechtsorde van de Staten die partij zijn bij het Verdrag en verbinden geen particulieren (noch rechtspersonen, noch natuurlijke personen). Volgens dat orgaan kan een individu of een commercieel bedrijf niets in de weg worden gelegd om zich volledig of gedeeltelijk de kosmische ruimte toe te eigenen, met inbegrip van de hemellichamen, en ze op de markt te brengen.

Het moeilijke punt ligt bij het feit dat, om te bestaan, een subjectief recht (d.w.z. een recht waarvan men bezitter is, zoals een eigendom of een ander patrimoniale recht) een objectief rechtssysteem vereist (een wet bijvoorbeeld) die het als zodanig erkent. Men is bijvoorbeeld eigenaar van een in België gekochte auto omdat de

Belgische wetgeving het uit die verkoop ontstane eigendomsrecht erkent. De verwerking van een subjectief recht is slechts mogelijk door verwijzing naar een gegeven rechtssysteem (burgerlijk recht in Frankrijk, België enz., de *common-law* in het Verenigd Koninkrijk, de Verenigde Staten).

Het internationaal recht verbiedt echter elke nationale soevereiniteit over de ruimte: welke wet ook erop toepassen is dus onmogelijk, behalve die welke zijn vastgelegd in de relevante verdragen. Noch het Amerikaanse, het Franse of welk ander nationaal recht ook kan worden toegepast op de kosmische ruimte, met inbegrip van de hemellichamen. Zelfs al zijn de particulieren niet rechtstreeks onderworpen aan het Ruimteverdrag, zij kunnen derhalve geen subjectieve rechten opeisen op dat gebied omdat die rechten geen wettelijke basis hebben.

De argumentatie van de Head Cheese (sic) refereert aan de Overeenkomst ter regeling van de activiteiten van Staten op de maan en andere hemellichamen (de zogeheten *Maanovereenkomst*), opgesteld op 18 december 1979. Die Overeenkomst is op 11 juli 1984¹ in de internationale rechtsorde in werking getreden. In het licht van de toepassing ervan wordt de Maanovereenkomst vanouds als een mislukking beschouwd. Slechts een tiental Staten zijn er partij bij. In die Overeenkomst worden evenwel de fundamentele principes vermeld; het is ook de eerste keer dat de kwestie van de exploitatie van de hemellichamen aan bod komt. Om kort te zijn, staat in de Overeenkomst dat de Staten die er partij bij zijn moeten samenwerken in het kader van het onderzoek en het gebruik van de hemellichamen van ons zonnestelsel, dat zij zich ervan moeten onthouden ze te gebruiken voor militaire installaties of uitrusting (wat restrictiever is dan het begrip van "vreedzaam gebruik") en dat, wanneer natuurlijke exploiteerbare rijkdommen worden geïdentificeerd, zij een ad-hocstelsel op poten



(NASA)



“De kosmische ruimte, met inbegrip van de maan en andere hemellichamen, mag geen voorwerp zijn van nationale toe-eigening door verklaring van soevereiniteit, noch door gebruik of bezetting, noch door welk middel ook.”

(Artikel II van het Ruimteverdrag)

moeten zetten met als doel de gehele mensheid van die rijkdommen te laten profiteren.

Dit systeem sluit aan op het systeem dat in 1982 werd gedefinieerd en in 1994 werd herzien in het kader van de Overeenkomst van Montego Bay betreffende het zeerecht. Voor de diepe zeebodem met zijn rijkdommen aan ertsen en olie die de begerige blikken van sommige geïndustrialiseerde landen trokken, werd een passend stelsel uitgewerkt: de exploitatie ervan werd toevertrouwd aan een internationale autoriteit belast met de verdeling van de concessies over de landen. Hierbij werd rekening gehouden met het statuut van gemeenschappelijk erfgoed van de mensheid dat van toepassing is op die rijkdommen. Aan de finale uitwerking van dat stelsel gingen bitse onderhandelingen vooraf die tien jaar aansleepten. Dat is gedeeltelijk de reden waarom de Maanovereenkomst die soortgelijke principes bekrachtigt (zonder even ver te reiken als de Overeenkomst van Montego Bay...), relatief weinig succes heeft. Het stelsel van de diepe zeebodem is evenwel erg theoretisch gebleven. Wellicht geldt dat ook voor het stelsel dat van toepassing is op de exploitatie van de hemellichamen, zelfs al worden op korte en middellange termijn nieuwe projecten voor wetenschappelijk onderzoek op de maan gepland.

Desalniettemin is de Maanoverkomst van kracht waarin een fundamenteel principe van het internationaal ruimterecht wordt herhaald: de kosmische ruimte, met inbegrip van de hemellichamen, moet worden gebruikt voor het welzijn en in het belang van alle landen, in welk stadium ook hun economische of wetenschappelijke ontwikkeling zich bevindt.

Het principe van de “niet-toe-eigening” in de ruimte moet echter gerelativeerd worden. De ruimte behoort niemand toe maar moet worden gebruikt ten voordele van allen. De ruimte gebruiken en exploiteren komt in zekere mate neer op de toe-eigening van de rijkdommen ervan. Ons economisch systeem berust op de eigendom of op soortgelijke rechten die het mogelijk maken dergelijke rijkdommen te valoriseren. Dat is trouwens het voorwerp van de bepalingen van de Maanovereenkomst. Bovendien mag de eigendom van de ruimte niet worden verward met de eigendom in de ruimte. De eigendom van ruimtevoorwerpen en goederen die erin worden vervoerd komt niet aan bod in de principes van het Ruimteverdrag van 1967. Het probleem van de intellectuele eigendom aan boord van ruimtevoorwerpen is een complexere materie, met name gezien het principe dat de ruimte ten voordele van de gehele wereld wordt gebruikt.

Andere voorbeelden daarvan zijn de eventuele installaties op de maan die het voorwerp kunnen zijn van een eigendomsrecht en de ontginning van ertsen die logischerwijze op een gegeven ogenblik het voorwerp moeten zijn van toe-eigening, zelfs al is die toe-eigening weggelegd voor een organisme dat aangeduid voor de uitvoering van de principes van het internationaal recht.

De gelukkige eigenaars van maanpercelen zullen zeker de zaken wat filosofisch dienen te bekijken als zij vernemen dat zij 40 euro hebben betaald voor een document waarvan de waarde alleen in hun verbeelding bestaat. Zoals de maanambassadeur in Frankrijk op zijn website besluit: *“La Lune est le symbole de l’espoir, du romantisme et du changement (...). Il n’y a rien de plus symbolique et romantique sur Terre que chacun peut offrir à un être cher (“dérocher la Lune”, “demander la Lune”, etc.)”*.

Een ruiker bloemen is toch ook al iets...

Jean-François Mayence

Adviseur en Opdrachthouder - Juridische aangelegenheden en Internationale relaties
Dienst voor Ruimteonderzoek en -toepassingen van de DWTC

¹ België leidde in 2001 een procedure in tot aansluiting tot deze Overeenkomst.

Actualiteit

Op het spoor van de *Belgische deelname* aan het Europees ruimteavontuur

De vluchten van Dirk Frimout en Frank De Winne in een baan om de aarde in 1992 en 2002 hebben een grote symbolische waarde. Ze maken de Belgische deelname aan het ruimtevaartavontuur duidelijk. Die deelname heeft sinds het eind van de jaren '50 een hoge vlucht gekend op politiek, wetenschappelijk en industrieel niveau.



Frank De Winne (NASA)

De Belgische belangstelling voor ruimteonderzoek ontstond in het zog van de wereldtentoonstelling van 1958 in Brussel en als gevolg van de activiteiten van het *Internationaal Geofysisch Jaar (IGY)*, dat in Ukkel zijn zetel had. De belangstelling van astrofysici en de knowhow van de Belgische elektromechanische industrie versnelden de aansluiting van de politieke wereld bij de eerste Europese ruimtevaartorganisaties. Zo ondertekende de regering in het begin van de jaren '60 de conventies van de *European Preparatory Commission on Space Research*, vervolgens van de *European Space Research Organisation (ESRO)* en *European Launcher Development Organisation (ELDO)* en van de *European Conference on Satellite Telecommunications*.

Het feit dat België een klein land is werd gecompenseerd door een constant engagement voor Europees ruimteonderzoek.

ESRO koos in 1965 het station van Redu om er satellieten te volgen. Binnen ELDO verzekerde de Belgische industrie de bouw van het volgstation voor de eerste Europese lanceerraketten van satellieten. Hoewel geen enkele *Europa*-raket de ruimte bereikte, konden ingenieurs dankzij het

in Australië geïnstalleerde Belgische station hun knowhow vervolmaken. De Belgische industrie ontwikkelde op het vlak van de ruimtevaart eveneens wetenschappelijke satellieten en nam deel aan onderzoek op het vlak van de eerste toegepaste satellieten voor telecommunicatie, luchtcontrole en meteorologie. Bovendien ontwikkelden de astrofysici van Brussel en Luik wetenschappelijke apparatuur aan boord van sondeerraketten en vervolgens enkele experimenten voor de eerste Europese wetenschappelijke kunstmanen zoals *HEOS A1* en *TD 1*.

Vanaf het midden van de jaren '60 stond de Europese ruimtevaart voor belangrijke problemen op het vlak van financiering, beheer en samenhang van de programma's. Tussen 1966 en 1975 kwamen in het kader van de *European Space Conference* de betrokken ministers regelmatig bij elkaar om een samenhangende Europese ruimtevaartpolitiek te bepalen. Hierbij moet de belangrijke rol benadrukt worden die de Belgische ministers Théo Lefèvre en Charles Hanin als voorzitter van de conferentie in dit bemiddelend orgaan hebben gespeeld. Gedurende meer dan vier jaar leverde Théo Lefèvre op verschillende fronten strijd om de Europese ruimtevaart te redden. Bij ELDO twijfelde hij niet aan de noodzaak van een autonome Europese lanceercapaciteit voor satellieten. België was overigens, samen met Frankrijk en Duitsland, het laatste land dat lid bleef van ELDO. Vanaf 1969 voerde Théo Lefèvre met de Verenigde Staten onderhandelingen over Europese samenwerking bij het ambitieuze Amerikaanse post-Apollo programma. Maar het is onder het voorzitterschap van Charles Hanin en door zijn gezond verstand en vastberadenheid dat Europa uit de impasse geraakte tijdens de *European Space Conference* van 31 juli 1973. Toen geraakten de Europese landen het eens over drie essentiële punten: de fusie van ELDO en ESRO tot één enkel Europees ruimtevaartagentschap, de start van het Ariane-programma en de Europese deelname aan het Amerikaanse post-Apollo programma met de bouw van het ruimtelaboratorium *Spacelab*.

In april 1975 werd, opnieuw onder Belgisch voorzitterschap van minister Gaston Geens, de

tekst van de ESA-conventie formeel aanvaard. De Belgische activiteiten voor het agentschap uitten zich via een belangrijke financiële, technische, industriële en wetenschappelijke bijdrage. Ons land is een trouwe ESA-lidstaat en dat is te merken aan de steun die het heeft gegeven aan ieder groot Europees ruimtevaartprogramma zoals Ariane, Spacelab, Hermes of Columbus. Bovendien was en blijft België op zowel wetenschappelijk als industrieel vlak actief in het domein van wetenschappelijke en toegepaste satellieten¹.

Een boeiende geschiedenis als die van de Belgische deelname aan het Europees ruimteavontuur verdient om neergeschreven te worden. Sinds mei 2001 wordt dat gedaan door de Belgische historica Dawinka Laureys. Dankzij het initiatief en de ondersteuning van ESA en de DWTC verzamelde ze gedurende bijna twintig maanden geschreven documenten, interviewde ze getuigen en hield ze zich bezig met een gedeeltelijke neerslag van deze geschiedenis. De professoren John Krige van het *Georgia Institute of Technology* in Atlanta en Robert Halleux, directeur van het *Centre d'Histoire des Sciences et des Techniques* van de universiteit van Luik geven wetenschappelijke leiding aan haar werk.

Het uiteindelijke doel van het programma is een historische synthese uit te werken over de Belgische inspanningen van de jaren '60 tot de vlucht van Dirk Frimout. Uiteindelijk moet dit leiden tot een publicatie eind 2003, begin 2004. Het Europees ruimtevaartagentschap ESA is bereid de vruchten van dit historische onderzoek te publiceren, zoals ze dat al voor Zwitserland en Zweden heeft gedaan. Dit werk maakt in feite deel uit van één van haar programma's, het *Extended History Project*².

Twee artikels zijn momenteel al geschreven. Het eerste heet 'Een klein land in *Big Science*: Belgische bijdrage aan het ontstaan van het Europees ruimteonderzoek'. Het werd in een internationaal vermaard tijdschrift gepubliceerd³ en beschrijft gedetailleerd de geschiedenis van dit ontstaan van 1958 tot 1964. Het tweede artikel is een synthese en beschrijft de belangrijkste

Ariane 5 (ESA)

etappes van de Belgische deelname van 1958 tot 1992. Het wordt weldra gepubliceerd in de reeks ESA HSR (*History Study Report*) van ESA.

Een historicus is niets zonder bronnen, zonder de archieven die hij verzamelt. Vandaag blijkt dat de documenten die getuigen van de Belgische deelname aan het Europees ruimteonderzoek grotendeels bewaard zijn gebleven, maar wel verspreid zijn over instellingen en privépersonen. De archieven van de DWTC en de documenten over Europees ruimteonderzoek die bewaard worden in de archieven van de Europese Gemeenschap in Firenze, behoren tot de meest waardevolle documentatiecentra. Maar ook de archieven van verschillende ministeries, wetenschappelijke laboratoria en de industrie, die te maken hebben met ruimteonderzoek, zullen moeten onderzocht worden.

Bovendien moet men ook beroep doen op mondelinge overlevering. Omdat de gebeurtenissen nog vrij recent hebben plaatsgevonden kan men op deze manier menselijke herinneringen trachten te bewaren. Tot op heden heeft Dawinka Laureys een tiental sleutelgetuigen geïnterviewd uit de politieke, wetenschappelijke en industriële sfeer. Van hun getuigenissen wordt een opname en een transcriptie gemaakt en ze worden in bewaring gegeven aan de archieven van de Europese Gemeenschap op vraag van het *Extended History Project* van ESA. Daardoor kan informatie verzameld worden die niet door de archieven zijn bewaard, of omdat er zaken zijn die men gemakkelijker aanvoelt en zegt dan neerschrijft.

De Belgische deelname aan de Europese ruimtevaartinspanningen was en blijft belangrijk. De geschiedschrijving ervan gaat voort. Wanneer uzelf getuige bent geweest van deze geschiedenis of documenten bezit die dit onderzoek kunnen verrijken, dan kunt in contact treden met Dawinka Laureys.

Dawinka LAUREYS,
Centre d'Histoire des Sciences et des Techniques
Université de Liège
Quai Banning 5, Bât. D1 – 4000 Liège
Fax: 32(0)4 366 94 47
e-mail : dawinka@hotmail.com



¹ Tijdens de eerste decennia van het bestaan van ESA nam België in het bijzonder deel aan de wetenschappelijke programma's GEOS 2, ISEE 2, EXOSAT en HIPPARCOS en aan de toegepaste programma's OTS, ECS, L-SAT, H-SAT en Marecs.

² Al verschillende jaren is ESA zich bewust van de noodzaak een blik in het verleden te werpen en een balans van haar activiteiten te maken. In 1990 richtte ESA het comité ESA History Project op waarvan de activiteiten leiden tot de publicatie van een zeer uitvoerig werk over de geschiedenis van de Europese ruimtevaartinspanningen. Het behoud van en de communicatie omtrent de historiek van het Europees ruimteonderzoek wordt momenteel verder gezet binnen de werkgroep Extended History Project. Deze groep wordt gecoördineerd door historici verbonden

aan ESA, door ruimtevaartpioniers en verenigd historici uit elke lidstaat. Het project heeft een dubbele doelstelling. Enerzijds wil het aan een groot publiek de geschiedenis van de bijdrage van elke lidstaat aan de globale ruimtevaartinspanningen duidelijk maken. Anderzijds zullen de historici uit elk van deze historische syntheses de bijzonderheden, de gelijknissen en de verschillen van de nationale strategieën kunnen opmaken. Sinds mei 2001 vertegenwoordigen George Van Reeth, van 1975 tot 1991 administratief ESA-directeur, professor Robert Halleux en Dawinka Laureys België in het Extended History Project van ESA.

³ Het tijdschrift Archives Internationales d'Histoire des Sciences wordt verdeeld door het Istituto della Enciclopedia Italiana (*Estratto dal n° 147*, vol. 51/2001).

Actualiteit

Jean-Jacques Dordain, nieuwe directeur-generaal van **ESA**

Tijdens zijn 161^{ste} zitting maakte de ESA-Raad de aanstelling bekend van Jean-Jacques Dordain als toekomstige directeur-generaal van de ESA voor een periode van vier jaar. Hij zal Antonio Rodotà opvolgen wiens mandaat op 30 juni 2003 eindigt.

De Fransman Dordain werd in 1946 geboren en behaalde in 1968 een ingenieursdiploma van de Ecole centrale. Hij bekleedde verschillende functies bij het ONERA, het Franse onderzoeks- en studiecentrum voor lucht- en ruimtevaart. In 1977 duidde de Franse ruimtevaartorganisatie CNES hem aan als een van de eerste Franse kandidaat-astronauten.

In 1986 begon hij voor ESA te werken als hoofd van het nieuwe departement voor de promotie en het gebruik van het internationaal ruimtestation en andere

ruimteplatforms. Vervolgens werd hij verantwoordelijk voor het departement dat de Europese Columbusmodule op het ISS en het microzwaartekrachtonderzoek coördineert. In 1993 werd hij geassocieerd directeur van de strategie, de planning en het internationaal beleid. In 1999 werd hij directeur van de strategie en van het pas opgerichte bureau voor technische evaluatie. In 2001 tenslotte werd hij directeur van de lanceerraketten.

(ESA-communiqué, 11 december 2002)



(ESA)

NASA nodigt ISS-partners uit

Ter gelegenheid van de opening van het *World Space Congress* in Houston in oktober vorig jaar, nodigde NASA de afvaardigingen uit van de landen die deelnemen aan het internationaal ruimtestation voor een bezoek aan het *Johnson Space Center*. Het is met name in dit centrum dat de astronauten en kosmonauten van het ISS een training krijgen. De afvaardigingen konden de training volgen van verscheidene astronauten, waaronder Michael Lopez-Alegria die zich voorbereidde op een reis naar het ISS enkele dagen na de terugkeer van Frank De Winne. Op het programma stond ook het bezoek aan verscheidene installaties, waaronder het indrukwekkende zwembad met op de bodem een gedeeltelijke replica van het ISS voor de training in "gewichtloze toestand". Het was ook in deze installaties dat verschillende films opgenomen worden zoals "Armageddon", "Space Cowboys" en "Apollo 13". De volgende dag namen de afvaardigingen deel aan de *Space Policy Summit* waar zij verwelkomd werden door de vroegere Minister van Buitenlandse Zaken James Baker en waarop ook Sean O'Keefe, bestuurder van NASA, aanwezig was. Iedere afvaardiging ontving bovendien een nationaal vlaggetje dat meeding aan boord van het ISS ter gelegenheid van de missie STS-11 in juni 2002.

Van links naar rechts: NASA Deputy Associate Administrator Michael C. Kostelnik, Jean-François Mayence (DWTC) en William H. Gerstenmaier, Manager van het NASA Space Station Program Office. (NASA)

Ruimtevaart en **grote rampen**

De DWTC organiseerden in samenwerking met de ESA een forum over de voorstelling in België van het Charter "Ruimtevaart en grote rampen" dat opgesteld werd door ESA, CNES (de Franse ruimtevaartorganisatie) en CSA (de Canadese ruimtevaartorganisatie). Dit forum bracht Belgische, Europese en internationale actoren bij mekaar die actief zijn op het vlak van crisisbeheer en aanverwante R&D. Meer inlichtingen op onze website: http://www.belspo.be/belspo/ostc/agenda/index_nl.stm

