

GOVERT SCHILLING & HUUB EGGEN

HEMEL & AARDE

EEN VERANDERLIJKE PLANEET IN EEN ADEMBENEMENDE KOSMOS

FONTAINE UITGEVERS

INHOUD

Voorwoord	7	Hemels vuurwerk	51
Inleiding	8	Verschuivende continenten	52
De blauwe planeet	12	Conflicten zien vanuit de ruimte	55
Foto van de eeuw	15	Een blauwe oase	56
De nagloed van de oerknal	16	De Grand Canyon	59
Wroeten in de aarde	19	De Okavangodelta	60
Naar het einde van de wereld	20	Statige spiraalarmen	63
Kosmische kraamkamer	23	Komeet in close-up	64
Bliksem en donder	24	Vissen in het donker	67
Ster in close-up	27	Droogte in West-Europa	68
Ringen van koraal	28	Bouwplaats van planeten	71
Blik in de diepte	31	Zee-ijs en poolijs	72
Megasteden	32	Nooit meer donker	75
Stofnesten in de Melkweg	35	Ringen en manen	76
Afstemmen op het Melkwegcentrum	36	Blik op het verleden	79
Het Oog van de Sahara	39	Schokgolf rond de wereld	80
Planetenstelsel in wording	40	Spaken in de wolken	83
Een zonsverduistering op Jupiter	43	Poollicht	84
Inslagkraters op aarde	44	Zwart gat in beeld	87
Het veld van de dahlia's	47	Slingerende rivieren	88
Onneembare godenberg	48	Zwanger van sterren	91
		Extreme temperaturen	92

Hoog en laag op aarde _____	95	Kosmische kliffen _____	138
Verdwijnende gletsjers _____	96	Bossen tegen de zee _____	140
Yin-yangmaan _____	99	Periodieke puffjes _____	143
Aan de wieg van een ster _____	100	In de ban van de ring _____	144
De wereld in brand _____	102	Stoffige spiraal _____	147
Hemelse twisters en valse kleuren _____	104	Van de bergen naar de zee _____	148
Gekleurde meren _____	107	Verdwijnen de longen van de aarde? _____	151
Buitenaards hooggebergte _____	108	Oermateriaal _____	152
Windsingels op de Russische steppe _____	111	Wolken op de drempel van de ruimte _____	155
Poollicht op een reuzenplaneet _____	112	Het verroeste werelddeel _____	156
Wolkenwervels achter eilanden _____	115	Een regen van sterren _____	159
Polderen _____	116	Ijsskoude wereld _____	160
Buitenaards vulkanisme _____	119	De laatste adem van een ster _____	163
De Straat van Gibraltar _____	120	Wervelstormen _____	164
Bezoek aan Victoria _____	123	De aanleg van de Tweede Maasvlakte _____	167
De vrieskist van de aarde _____	124	Stralingsverdamping in de Adelaarnevel _____	168
Graancirkels in de woestijn _____	127	Een kosmisch stofje _____	171
Zeven zusjes _____	128		
Het dak van de wereld _____	131	Meer weten? _____	172
De grote broer van het Melkwegstelsel _____	132	Meer foto's? _____	173
Een stoffige wereld _____	135	Register _____	174
Sterren op een kluitje _____	136	Naschrift duurzaam drukken _____	176



VOORWOORD

Dat ik ruim een half jaar mocht wonen en werken tussen hemel en aarde beschouw ik als een voorrecht. Mijn tijd in het ruimtestation ISS was vanzelfsprekend gevuld met talloze activiteiten, van het uitvoeren van experimenten, onderhoud en reparaties tot contact onderhouden met de controlecentra op aarde en verplicht urenlang sporten. Maar zodra ik wat vrije tijd had, bracht ik deze het liefst door bij een lievelingsplek van astronauten: een raam. De uitkijkoepel en de ramen aan de zijkant bieden een magnifieke blik op het heelal. In onze positie boven de aardse atmosfeer is het zicht ontzettend helder. De Melkweg en de satelliet sterrenstelsels, de Magelhaense wolken, zijn goed zichtbaar. De komeet Lovejoy kwam tevoorschijn vlak voordat de zon opkwam boven Australië en ik was getuige van een Venusovergang, een zeldzaam verschijnsel waarbij de planeet Venus voor de zon langs trekt. Door middel van een filter voor onze telescoop aan boord konden we het prachtig volgen. De overgang van 1768 maakte het voor het eerst mogelijk om de afstand tussen de zon en de aarde precies te bepalen. Hoe indrukwekkend de met sterren bezaaide hemel ook is, mijn blik beperkte zich vanzelfsprekend tot wat ik met het blote oog kon zien. Met hulp van steeds geavanceerder telescopen op aarde en in de ruimte is in de afgelopen decennia meer en meer van het heelal zichtbaar gemaakt, met fascinerende foto's van kosmische kraamkamers en hemels vuurwerk tot gevolg.

Wat het uitzicht in het ISS absoluut adembenemend maakt, is de blik op onze planeet. In anderhalf uur vliegt het ruimtestation om de aarde, de blauwe oase

in ons zonnestelsel. Intussen draait de planeet rond haar as onder het ruimtestation door, waardoor astronauten iedere ronde van een ander uitzicht genieten, de helft van de ronde boven de verlichte aarde, de andere helft over het nachtelijke deel. Geen minuut is het plaatje hetzelfde. Gekleurde meren, gekreukelde bergketens, aparte wolkenformaties en rivierdelta's die glinsteren in het licht van de laagstaande zon. Aan de nachtkant gevolgd door goudverlichte steden, felle bliksemflitsen en dansende groene gordijnen van het poollicht. Het uitzicht op onze aarde is nooit saai. Ook alarmerende verschijnselen trokken mijn aandacht. Tekenen van ontbossing, smog boven grote steden en de ontelbare lichtjes van vissersschepen in de nacht maken duidelijk dat we leven op een mooie, maar kwetsbare planeet. Een planeet die wij delen met elkaar en met alle levensvormen en waar we zuinig op moeten zijn. *Hemel & aarde* geeft ons een blik in de ruimte en laat zien dat deze unieke plek in het zo schitterende maar onherbergzame heelal ons thuis is.

André Kuipers



▲ Foto: Nico Kroon

INLEIDING

We leven in een woelige wereld. Natuurrampen en pandemieën, oorlogen en aanslagen, smeltende gletsjers – elke dag brengt weer nieuwe ontwikkelingen, nieuwe onzekerheden. Veel van die veranderingen hebben we ook nog eens aan onszelf te danken: de opwarming van het klimaat, de vervuiling van de oceanen, de afname van de biodiversiteit. Niets blijft bij het oude, en de toekomst is ongewis.

Eén ding verandert echter nooit: de serene schoonheid van de nachtelijke sterrenhemel. Die onverstoorbare wereld van sterren en planeten biedt veel mensen troost, houvast en rust. De kosmos kent geen moraal, geen schuld – die *is* er gewoon. Ongenaakbaar en overweldigend, maar tegelijkertijd oogstrelend en standvastig. Alsof de sterren ons willen zeggen dat het uiteindelijk allemaal wel goed komt.

Hemel & aarde brengt deze twee werelden samen: de adembenemende kosmos en onze veranderlijke planeet, die daar een nietig onderdeel van vormt. Eeuwenlang hebben we vanaf onze woonplaats in het heelal naar boven gekeken, vol verwondering over dat mysterieuze universum. Pas sinds kort hebben we vanuit de ruimte ook de blik naar beneden kunnen richten, voor een verrassend nieuw perspectief op de aarde.

De vele tientallen zorgvuldig geselecteerde foto's in dit boek – waaronder historische opnamen, satelliet-waarnemingen, foto's die door astronauten zijn gemaakt, en de nieuwste beelden van de James Webb

Space Telescope – tonen de meest uiteenlopende aspecten van hemel en aarde, en in de begeleidende teksten nemen we u mee op een fascinerende ontdekkingsreis vol verrassende feiten en nieuwe inzichten.

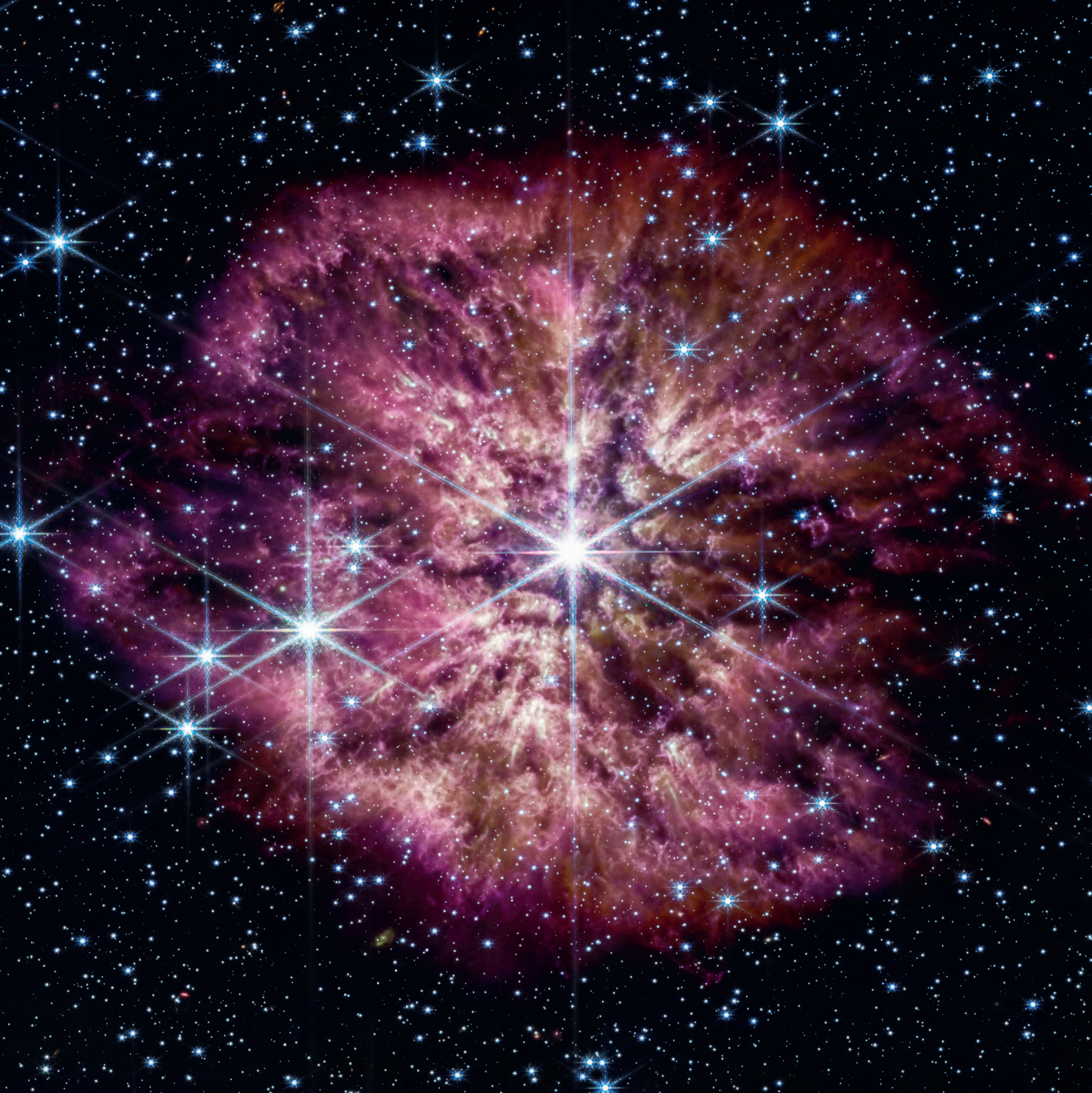
Zo blijkt de bestendigheid van het heelal maar schijnbaar te zijn. Sterren worden geboren en gaan dood; sterrenstelsels komen met elkaar in botsing, en de ruimte dijt uit. Het gaat alleen zo traag dat wij er nauwelijks iets van merken – we zien niet meer dan een momentopname. De mens is een eendagsvlieg op het kosmische toneel.

Tegelijkertijd is de aarde onlosmakelijk verbonden met dat langzaam evoluerende heelal, en zijn de landschappen op onze thuisplaneet door dezelfde natuurlijke krachten gevormd. De snelle en soms ingrijpende veranderingen die door de mens worden veroorzaakt, zijn van veel recentere datum. Op de schaal van het universum stellen ze weinig voor, maar juist door ze naast buitenaardse beelden te presenteren, zouden ze ons aan het denken moeten zetten.

We hopen dat dit boek u veel kijk- en leesplezier zal opleveren, en dat het uw blik op hemel en aarde zal mogen verruimen en verrijken.

Govert Schilling en Huub Eggen

maart 2023



DE BLAUWE PLANEET

Onze aarde, gezien vanaf ongeveer anderhalf miljoen kilometer afstand. Linksonder zien we Australië, en met wat moeite rechtsboven de westkust van Noord-Amerika. Als je weet waar je moet zoeken zie je ook nog het Zuidereiland van Nieuw-Zeeland. De rest is de Stille Oceaan, die ongeveer een derde van de wereld beslaat. In totaal nemen zeeën en oceanen 71 procent van onze planeet in. De aarde is dus eigenlijk een waterplaneet.

De aarde ontvangt zijn licht van de zon. Dat licht is samengesteld uit alle kleuren van de regenboog, van violet en blauw aan de ene kant tot rood aan de andere kant. Al die kleuren samen vormen wit licht. Van het licht dat op de oceaan valt, vangt het zeewater alle kleuren weg, behalve blauw. Daarom zien zeeën en oceanen er blauw uit. Ook onder water overheerst het blauw, zoals elke snorkelende vakantieganger weet. In helder water in de tropen kan het tot wel tachtig meter diep helder verlicht zijn. Op hogere breedten en in troebel water is dat veel minder. Uiteindelijk is het licht op zo'n achthonderd meter diepte helemaal uitgedoofd.

GEEN SPOOR VAN ONS

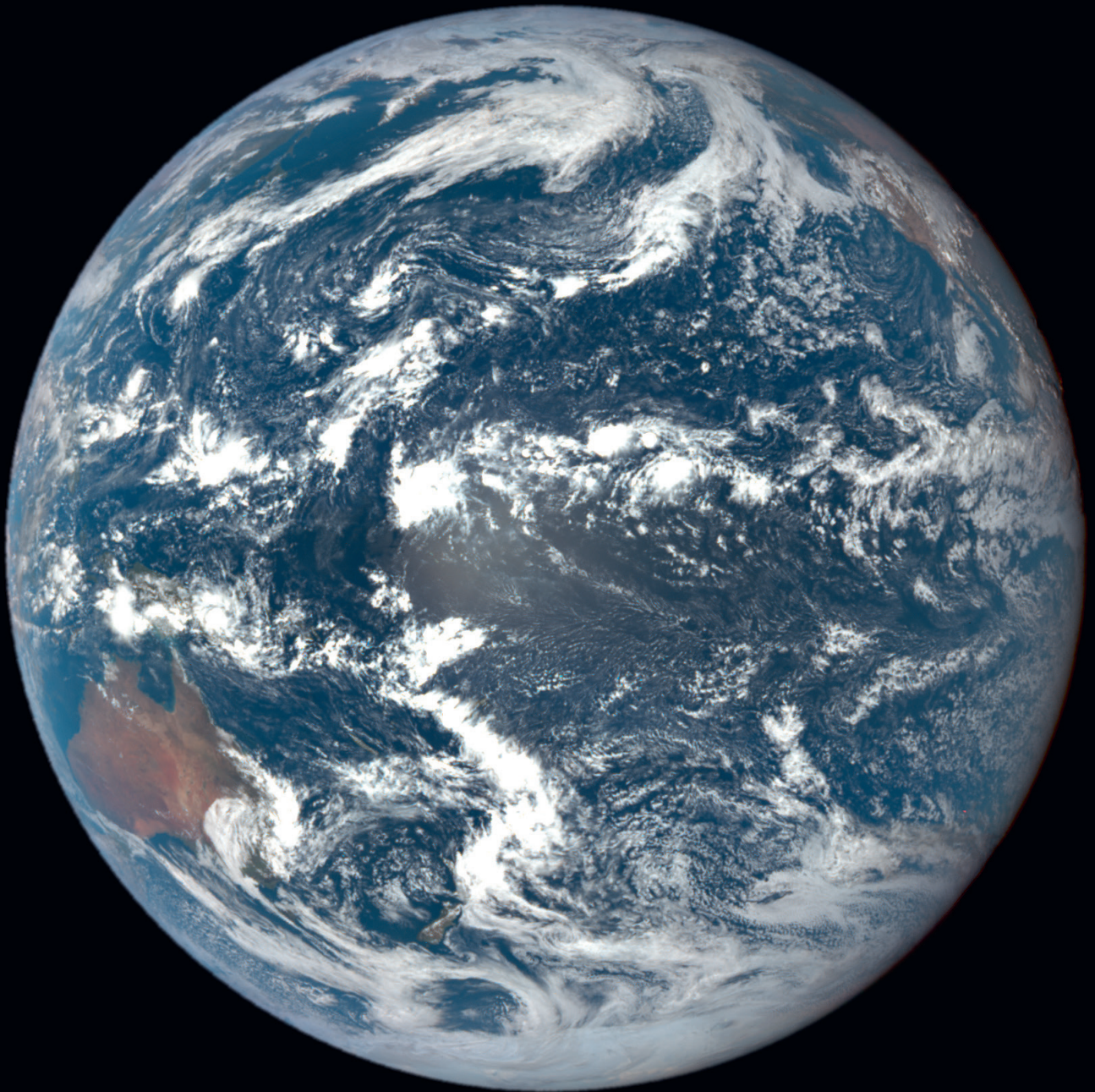
Wat je op deze foto alleen indirect ziet is onze dampkring. Die hangt als een akelig dun schilletje om onze planeet heen. Daarin zitten de wolken die we zien. Over de foto lijkt een soort blauw waas te hangen. Dat is hetzelfde blauw dat onze hemel kleurt. De gasdeeltjes in onze lucht strooien het blauwe deel van het zonlicht alle kanten op. Elk gasdeeltje wordt als het ware een eigen blauw licht-

bronnetje. Dat blauw zien we van onderaf, maar ook van boven. 'De aarde is blauw, waar je ook kijkt,' constateerde astronaut Pete Conrad al in 1965.

Op een foto zoals deze zie je geen enkel spoor van de mens. Van veel dichterbij zijn wel overal dingen als steden, havens, dagbouw mijnen, akkers en zo meer herkenbaar. Vanaf een steeds groter wordende afstand wordt dit allemaal snel onzichtbaar. Wel kun je aan de nachtkant van de aarde bijvoorbeeld nog verlichting van steden zien. De Apollo-astronauten die naar de maan reisden zagen vanaf zo'n tienduizend kilometer afstand ook die lichtjes niet meer. Met het blote oog konden ze niet meer vaststellen of er leven is op aarde.

De aarde als exoplaneet

In december 1990 lieten onderzoekers de ruimtesonde Galileo, die op weg naar Jupiter een scheervlucht langs de aarde maakte, met zijn instrumenten naar onze planeet kijken alsof we een exoplaneet zijn. Ze registreerden een onevenredige hoeveelheid zuurstof- en methaangas in onze dampkring en een sterke absorptie van het rode deel van het weerkaatste zonlicht. Wij weten dat dat komt door het groene plantenleven op aarde. Ook zag de ruimtesonde 'onnatuurlijke' smalle pieken op radiofrequenties, vooral van tv en radar. Voor slimme aliens voldoende aanwijzingen dat er met die planeet iets bijzonders aan de hand is.



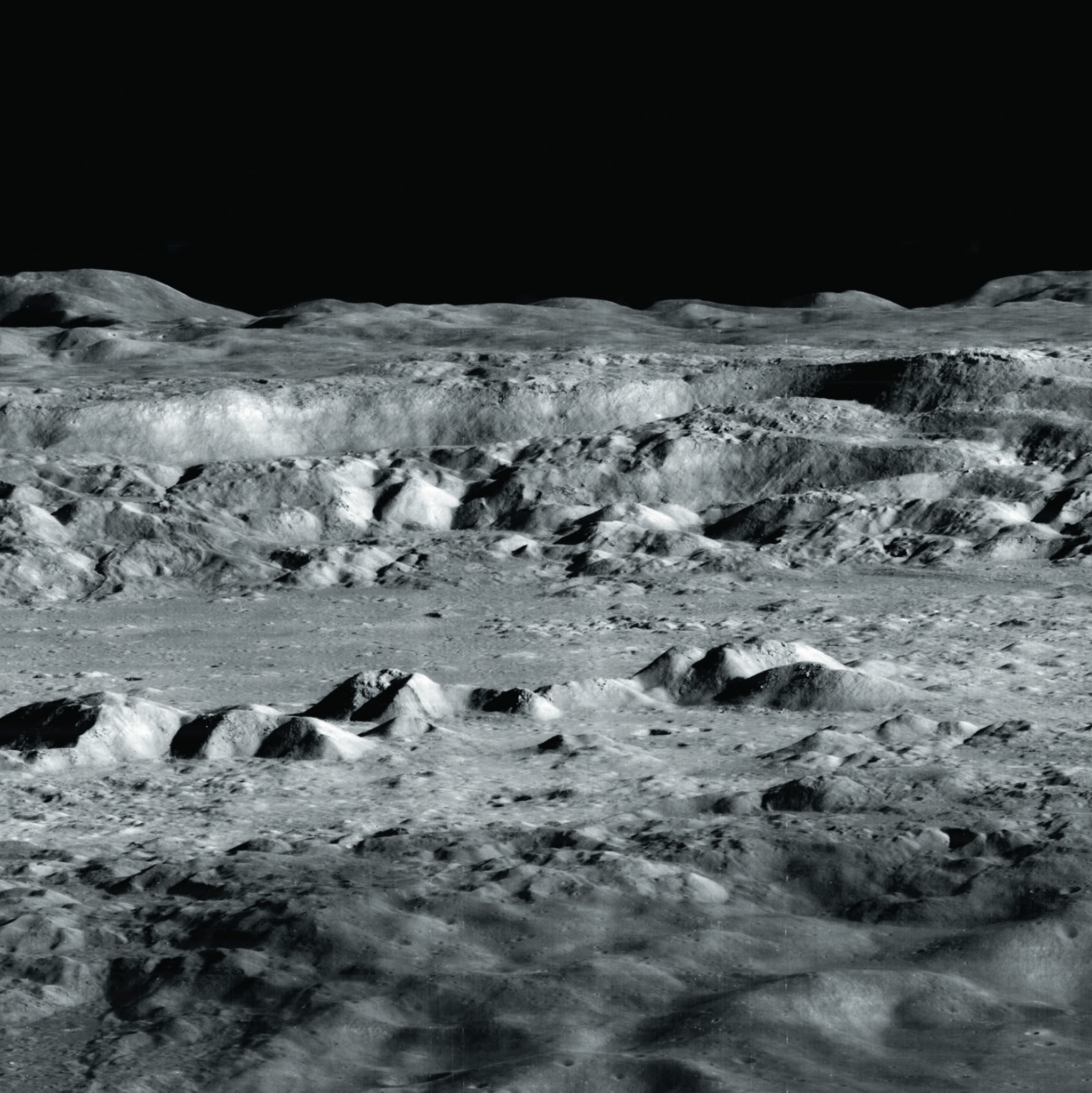


FOTO VAN DE EEUW

Het Amerikaanse weekblad *Life* riep deze foto van de grote maankrater Copernicus uit tot foto van de eeuw. Misschien een beetje voorbarig, want de twintigste eeuw was pas voor twee derde verstreken, maar het geeft wel aan hoeveel indruk de opname indertijd maakte. We kenden de maan altijd als een onbereikbaar hemellichaam dat we alleen vanaf grote afstand konden bestuderen, maar nu kregen we opeens een spectaculair landschap voorgeschoteld – een potentiële reisbestemming.

De foto is op 24 november 1966 gemaakt door het onbemande ruimtevaartuig Lunar Orbiter 2. Digitale camera's bestonden nog niet; de foto werd geschoten op film, aan boord automatisch ontwikkeld, en vervolgens elektronisch gescand en doorgeseind naar de aarde.

Copernicus is een van de opvallendste inslagkraters op de maan; hij is genoemd naar de Poolse sterrenkundige Nicolaus Copernicus, die in 1543 verkondigde dat de aarde om de zon draait in plaats van andersom. De krater heeft een diameter van ruim negentig kilometer, en is bijna vier kilometer diep.

PERSPECTIVISCHE FOTO

Lunar Orbiter 2 vloog op 240 kilometer ten zuiden van de krater, op een hoogte van 45 kilometer, toen de ruimtesonde deze perspectivische foto maakte met een krachtige telelens. Op de voorgrond is de nabijgelegen kraterrand zichtbaar; ongeveer in het midden van de foto zie je de tegenovergelegen rand. De kraterbodem zelf is vrij vlak, afgezien van de bergketen in het centrum, die ongeveer vijftien

kilometer lang en zo'n zeshonderd meter hoog is.

Die 'centrale berg' is ontstaan in de nasleep van de inslag – een beetje vergelijkbaar met de omhoog bewegende druppel in de wasverzachter- of de espressoreclame. Het is nauwelijks voorstelbaar wat voor catastrofale ramp zich hier 800 miljoen jaar geleden heeft voltrokken.

Als je de Lunar Orbiter-foto vergelijkt met een opname van een aards berglandschap, gezien vanuit een vliegtuig, dan valt vooral op hoe haarscherp zelfs de verste bergruggen zijn, en hoe diepzwart de schaduwen. De oorzaak: de maan heeft geen dampkring, en kent dus geen lichtverstrooiing of heiligheid.

Lunar Orbiter 2 heeft zelf trouwens ook een klein kratertje op de maan veroorzaakt: op 11 oktober 1967 crashte de ruimtesonde (volgens plan) op de achterzijde van de maan.

Spitsbergen op de maan?

Met een telescoop zijn vanaf de aarde ook spatscherpe schaduwen op de maan te zien. Sterrenkundigen kregen daardoor het idee dat de hellingen op de maan enorm steil zouden zijn, en de bergtoppen extreem spits. Zo werden ze dan ook afgebeeld in oude boeken en tijdschriften. In werkelijkheid is het maanlandschap vrij glooiend.

DE NAGLOED VAN DE OERKNAL

Een pointillistisch kunstwerk? Een close-up van een tv-scherm dat alleen maar ruis ontvangt? Een stipenschilderij van Damien Hirst? Nee, dit is een 'foto' van de oerknal. Of liever gezegd: een kaart van minieme temperatuurverschillen in de kosmische achtergrondstraling – de vrijwel weggestorven 'echo' van de geboortekreet van het universum. Dichter bij de schepping zijn wetenschappers nog nooit geweest.

Niemand weet hoe het heelal is ontstaan, of wat daar eventueel aan voorafging. Wel weten sterrenkundigen dat de ruimte miljarden jaren geleden enorm veel compacter was dan nu. Sterrenstelsels, nevels, sterren en planeten waren er nog niet; de kosmos was gevuld met een dichte, hete 'oersoep' van elementaire deeltjes. Die extreme begintoestand wordt de oerknalfase van het heelal genoemd.

Na ongeveer 380.000 jaar kosmische uitdijning was het gas voldoende verdund en afgekoeld dat het doorzichtig werd. De energierijke straling die toen vrijkwam – qua temperatuur vergelijkbaar met de straling van het oppervlak van de zon – is nog steeds in het heelal aanwezig. Maar omdat er inmiddels 13,8 miljard jaar zijn verstreken, is er weinig méér van over dan een zwakke radiatoruis op millimetergolflengten, die van alle kanten op ons afkomt: de kosmische achtergrondstraling.

EEN TIENDUIZENDSTE GRAAD

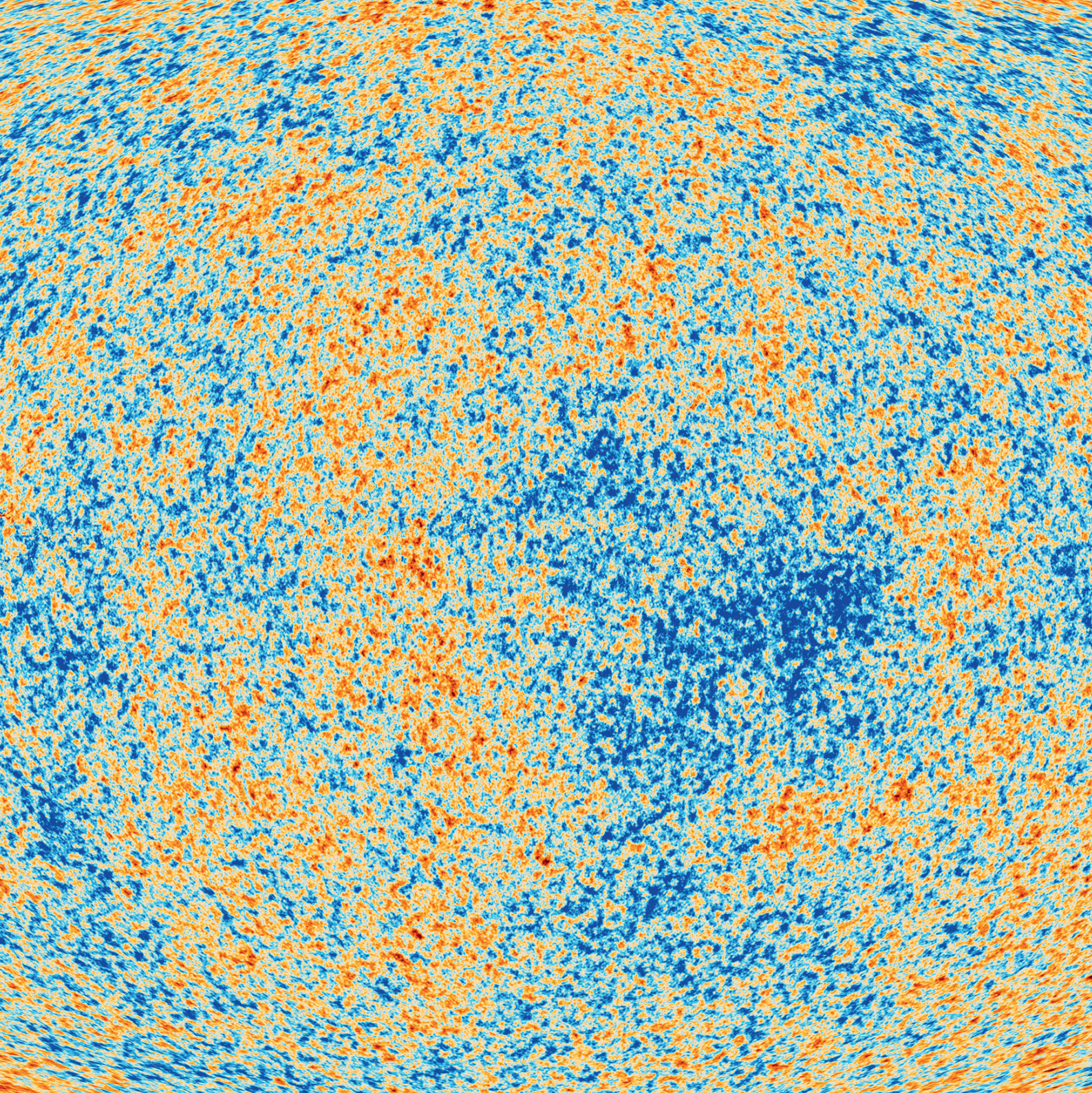
De Europese ruimtetelescoop Planck, genoemd naar de Duitse natuurkundige Max Planck en gelanceerd in mei 2009, heeft vierenhalf jaar lang precisie metingen uitgevoerd aan die kosmische achtergrondstra-

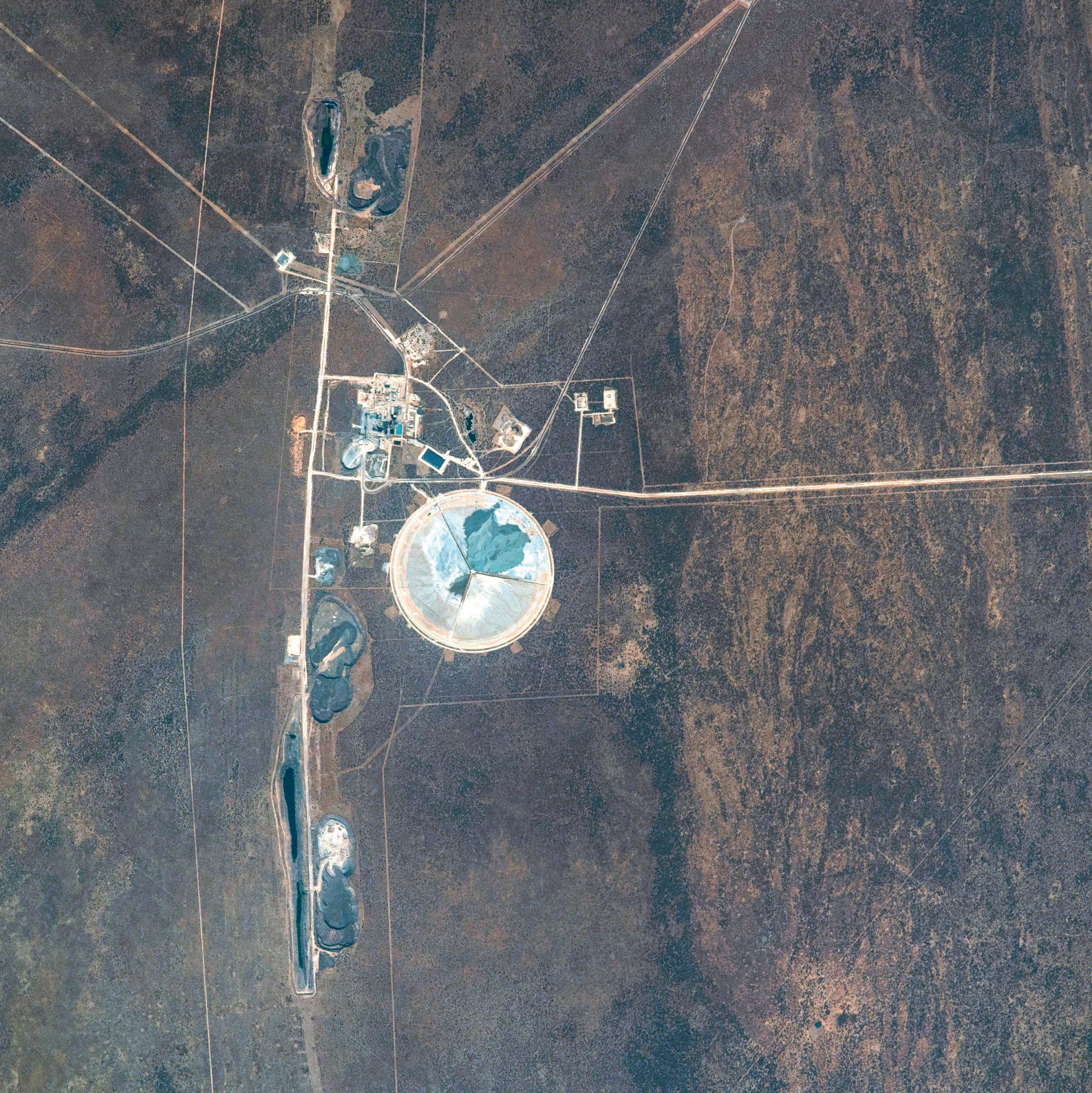
ling. Daarin blijken minieme temperatuurverschillen van een tienduizendste graad voor te komen, hier weergegeven met blauwe en rode kleuren. Ze corresponderen met geringe dichtheidsverschillen in de 'oersoep', waaruit later de sterrenstelsels zijn samengeklonterd. De kaart van Planck wordt wel de babyfoto van het heelal genoemd.

Kosmologen hebben de statistische verdeling van de 'warme' en 'koele' gebiedjes in de kosmische achtergrondstraling nauwkeurig geanalyseerd. Daaruit kon ondubbelzinnig de samenstelling van het heelal worden afgeleid: 4,9 procent atomen, 26,6 procent raadselachtige donkere materie, en 68,5 procent mysterieuze donkere energie. 'Precisiekosmologie' wordt dat genoemd. Voor de verschillende percentages mag dat gelden, maar de frustrerende werkelijkheid is dat we nog geen vijf procent van het heelal echt begrijpen; naar de ware aard van de resterende vijftien procent is het gissen. Ondanks de hypnotiserende stippenkunst van Planck.

Duivenpoep

De kosmische achtergrondstraling werd in 1964 ontdekt door de Amerikaanse radiotechnici Arno Penzias en Robert Wilson. Ze konden het zwakke signaal niet thuisbrengen, en dachten dat het om storingen ging, veroorzaakt door duivenpoep in hun grote antenne. Pas toen kosmologen zich ermee gingen bemoeien, werd duidelijk dat ze de 'echo' van de oerknal hadden opgevangen.





WROETEN IN DE AARDE

Zou een toekomstige basis op een andere planeet er zo uit kunnen zien? Op allerlei plaatsen op aarde vind je dit soort patronen, soms heel rommelig, soms heel strak, haast grafisch. Het zijn altijd mijnen. Op de foto, op 10 september 2021 gemaakt door de Amerikaanse astronaut Shane Kimbrough, zien we het Khoemaucou-mijncomplex bij Boseto in het noordwesten van Botswana. Hier worden koper en zilver gewonnen. De mijn ligt in een oud verweerd gebergte dat loopt van Namibië via Botswana en Zambia naar Congo. Het zuidwestelijke gedeelte ervan hier in Botswana staat bekend als de Kalahari-kopergordel. Het koper en zilver zitten in vulkanische gesteenten en sedimenten die zo'n miljard jaar geleden gevormd werden. In die tijd bestonden veel van de tegenwoordige continenten al, maar ze lagen op andere plekken dan tegenwoordig en vormden het oercontinent Rodinia.

Ertswinning zien we veel in gebieden waar het geologisch gezien heel lang rustig is geweest in de aardkorst. Gesteenten en ertsen erin zijn daardoor bewaard gebleven. Dergelijke gebieden zijn vaak de stabiele kernen van continenten en worden rompgebergten of kratons genoemd. Zuidelijk Afrika is een van die gebieden, het noordoosten van Europa ook. De vondst van zeldzame aardmetalen in Zweden die begin 2023 bekend werd gemaakt, is geologisch gezien dus logisch.

VORMING VAN ERTSEN

Metalen die men delft komen in de natuur voor als verbindingen met andere elementen, in de vorm van mineralen. Er zijn verscheidene manieren waarop

metaalhoudende mineralen ontstaan. Op grote diepte in de aarde is het gesteente door de hoge temperatuur en druk gesmolten. Wanneer dat gesteente als magma omhoogkomt, koelt het langzaam af en vormen zich bij verschillende temperaturen allerlei verschillende mineralen. Door processen als tektonische bewegingen en erosie kunnen deze gesteenten dicht onder of zelfs aan het aardoppervlak komen te liggen. Een andere manier is wanneer gesteenten aan het aardoppervlak met veel mineralen erin eroderen en zich ophopen tot sedimenten, die dan rijk aan mineralen kunnen zijn. Als dergelijke sedimenten later onder nieuwe afzettingen terechtkomen, kunnen ze door de druk zo warm worden dat ze deels weer smelten en er nieuwe mineralen kunnen ontstaan. Ten slotte kan grondwater mineralen uit gesteente oplossen en weer laten neerslaan in spleten en breuken in gesteente of als ertsknollen. In Nederland is eeuwenlang 'oer' gewonnen uit ijzerknollen die door grondwater in zandbodems waren gevormd.

Ongelijk verdeeld

Metaalertsen komen overal voor, maar ze zijn ongelijk verdeeld over de wereld. Zo wordt bijvoorbeeld 45 procent van alle uranium gewonnen in Kazachstan. China is goed voor 60 procent van alle zogeheten zeldzame aardmetalen, onmisbaar voor veel hightechapparaten. Koper komt voor de helft uit Zuid-Amerika. In de top 10 van erts delvende landen komt Europa nauwelijks voor. Wij zijn dus erg afhankelijk van de rest van de wereld.