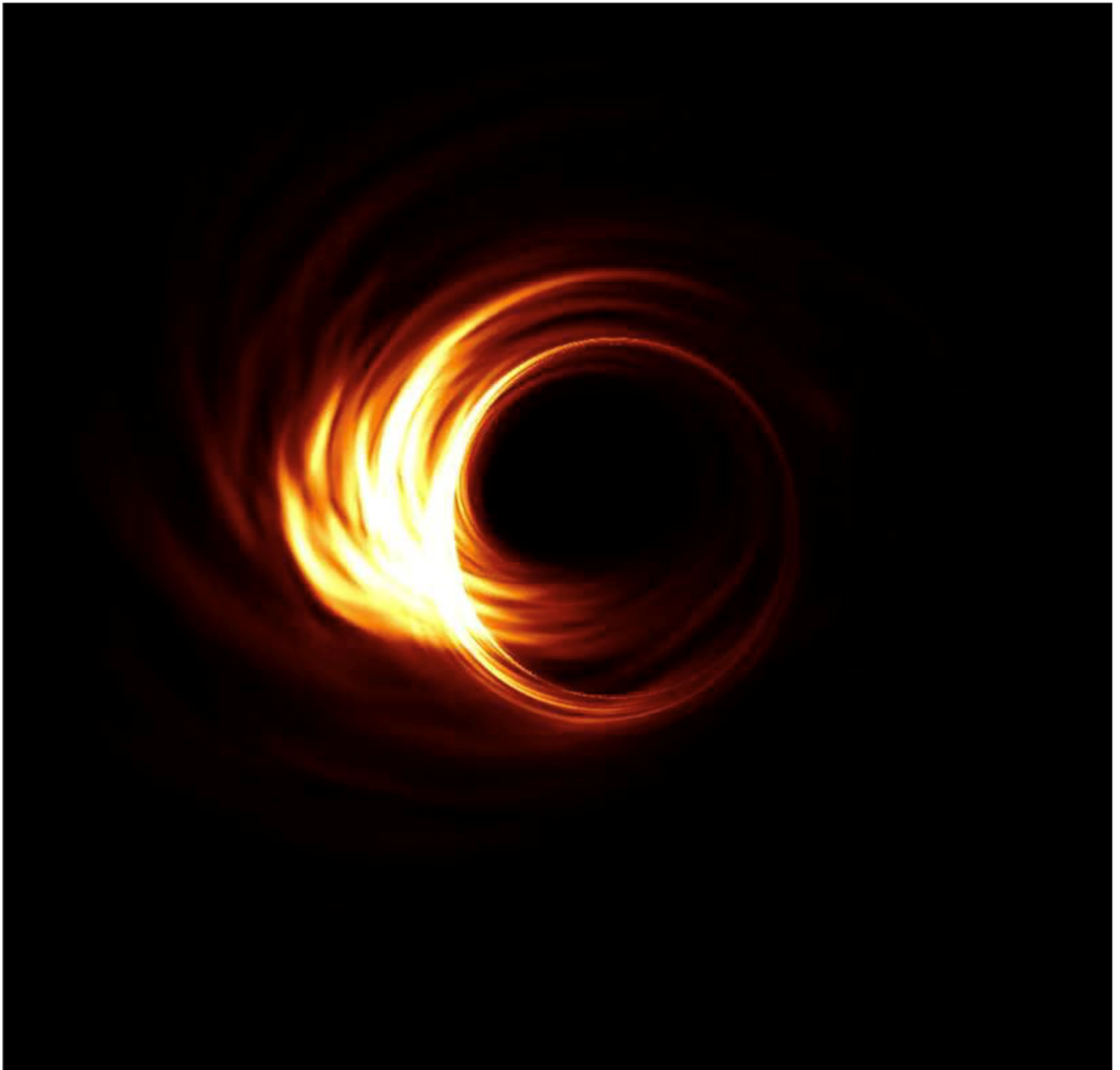


Een telescoop zo groot als de Aarde

Enkele van de meest aansprekende resultaten uit de astronomie in de afgelopen jaren zijn ongetwijfeld de eerste waarnemingen van de zwarte gaten in het centrum van de Melkweg en in het sterrenstelsel M87. Deze waarnemingen zijn gedaan met een telescoop met een virtuele diameter ter grootte van de Aarde. In dit artikel leg ik uit waarom we zo'n grote telescoop überhaupt nodig hebben, en hoe die *Event Horizon Telescope* werkt.

De Event Horizon Telescope (EHT) is ontworpen om de 'schaduw' van zwarte gaten te kunnen fotograferen. De naam van de EHT komt van de [event horizon](#) van zwarte gaten. Dit is de horizon waarachter de zwaartekracht zo sterk is dat niets kan ontsnappen. De schaduw van een zwart gat is een donkere regio die ontstaat doordat ook licht dat vlak langs het zwarte gat zou scheren erin valt, omringd door een ring van licht. Zie afbeelding 1 voor een computersimulatie van hoe zo'n schaduw eruit ziet. In de donkere regio bevindt zich dan het zwarte gat: een gebied waar de zwaartekracht zo sterk is dat zelfs licht niet kan ontsnappen, waardoor het dus ook onze telescopen niet kan bereiken.

Om een superzwaar zwart gat, dat de EHT zou kunnen zien, te creëren is enorm veel massa nodig. Voor de zwarte gaten die nu geobserveerd zijn, een massa van wel miljoenen keren die van de zon. Ondanks die extreme massa zijn de zwarte gaten erg klein aan de sterrenhemel. Zó klein dat een heel goede camera nodig is om ze op de foto te krijgen. Vanaf de Aarde gezien zijn de zwarte gaten die zijn geobserveerd met de EHT namelijk net zo groot als een sinaasappel op de maan.



Afbeelding 1. De schaduw van een zwart gat. Een computersimulatie van de schaduw van een zwart gat. Afbeelding: Event Horizon Telescope.

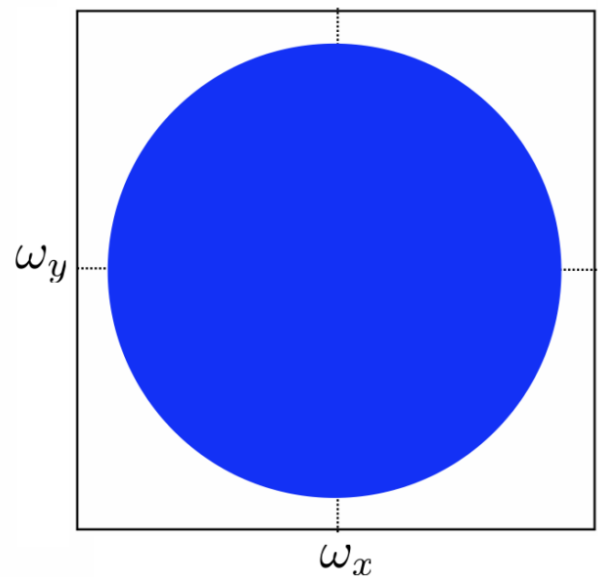
Om te kunnen bepalen wat voor soort telescoop nodig is om een zwart gat te fotograferen, wordt de volgende vergelijking gebruikt:

$$\boxed{\text{Telescoopdiameter}} = \frac{\boxed{\text{golflengte}}}{\boxed{\text{objectdiameter}}} \cdot \lambda$$

We kunnen dus aan de hand van de golflengte van het licht dat we willen observeren de diameter van de telescoop bepalen die nodig is om een zwart gat te kunnen zien. Om de schaduw van een zwart gat te kunnen zien, moeten we kijken naar licht met een golflengte

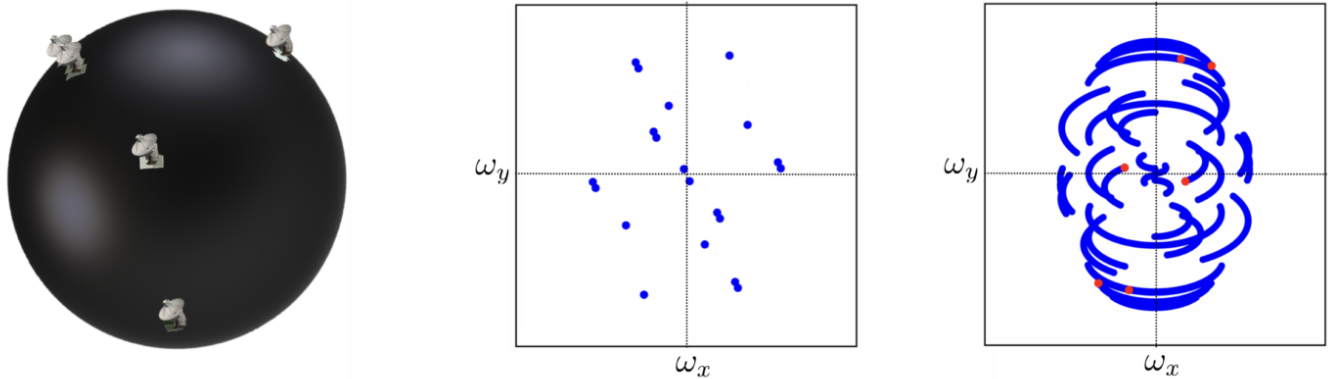
van ongeveer 1,3 millimeter. Aan de hand van bovenstaande vergelijking volgt dan dat we een telescoop nodig hebben met diameter zo groot als de Aarde! Dat klinkt als een onmogelijke opgave, maar met behulp van een netwerk van telescopen en kunstmatige intelligentie is het toch gelukt om de zwarte gaten te observeren.

Zo'n telescoop ter grootte van de Aarde kan je je voorstellen als een discobal zo groot als onze planeet. Ieder spiegeltje stelt dan een telescoop voor, die de foto van de virtuele telescoop inkleurt met data – zie afbeelding 2.



Afbeelding 2. De aarde als een discobal. Om een foto van zwarte gaten te kunnen maken heb je een telescoop nodig die even groot is als de aarde. Met zo'n telescoop zou je het hele plaatje van het zwarte gat kunnen 'inkleuren' zoals rechts, maar in de praktijk is dat een stuk lastiger – vergelijk afbeelding 3.

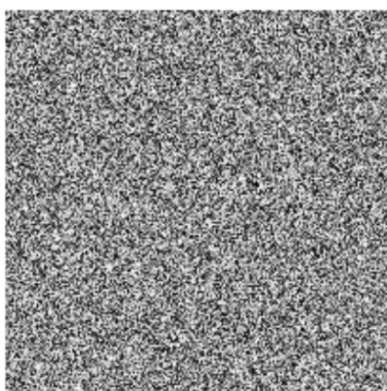
Door een zevental radiotelescopieën van over de hele wereld (in Antarctica, Chili, Hawaï, Mexico, Arizona, Frankrijk en Spanje) allemaal te in dezelfde richting te laten kijken en gelijktijdig te laten observeren, kunnen sommige van die spiegeltjes worden ingekleurd (afbeelding 3 – midden). Doordat de Aarde om haar as draait, kunnen we zelfs nog iets meer van het plaatje vastleggen (zoals weergegeven in afbeelding 3 – rechts). Dit is echter nog niet genoeg om een complete foto te schieten.



Afbeelding 3. Het invullen van het plaatje. Links: Enkele telescopen worden gebruikt om de Aarde te overdekken. (b) Dat leidt tot enkele pixels van het uiteindelijke plaatje. (c) Doordat de Aarde draait, kan meer van het plaatje worden ingevuld.

Iets wat wel zeker is, is dat de volledige foto consistent moet zijn met de (gedeeltelijke) observaties. Wat er dus nog moet worden gedaan is de pixels die nog ontbreken inkleuren.

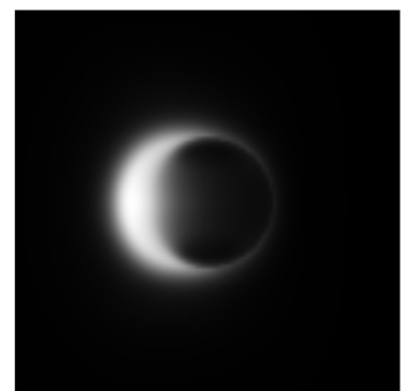
Om de ontbrekende pixels in te kleuren wordt een slim algoritme gebruikt. Er zijn namelijk oneindig veel manieren om de foto compleet te maken. Veel manieren geven echter duidelijk geen plaatje van een zwart gat. Het slimme algoritme kent aan al die verschillende mogelijke foto's een kans toe, die zegt hoe waarschijnlijk het is dat het de foto van het zwarte gat is, en creëert zo een rangschikking van minst waarschijnlijk tot meest waarschijnlijk (zie afbeelding 4). Als resultaat wordt ten slotte de meest waarschijnlijke foto genomen.



Unlikely



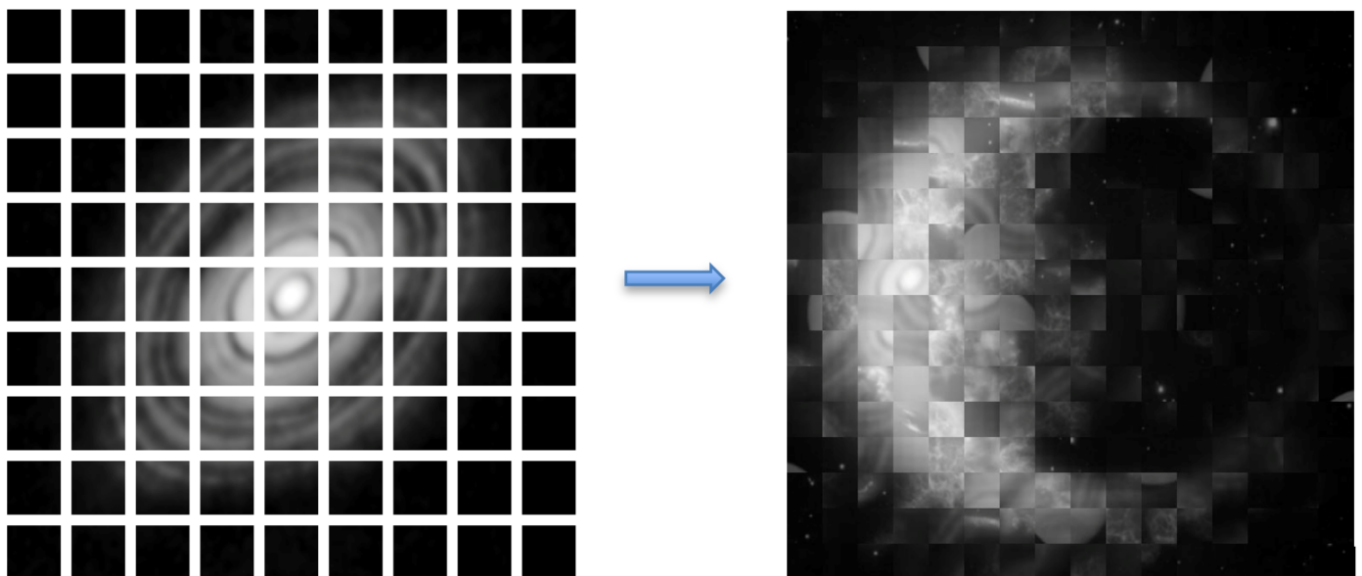
More likely



Very likely

Afbeelding 4. Een zwart gat? Na het inkleuren van de ontbrekende pixels lijken sommige afbeeldingen duidelijk méér op een zwart gat dan andere.

Het inkleuren van de ontbrekende pixels door het algoritme is als het oplossen van een puzzel. We weten echter niet hoe de uiteindelijke puzzel eruit zal zien, en hebben maar een klein gedeelte van de puzzelstukjes (die al wel op de goede plek liggen gelukkig): de data van de telescopen. De eerste vraag is dan: wat voor soort puzzelstukjes moeten we überhaupt gebruiken om de puzzel compleet te maken? Een logische optie is bijvoorbeeld om puzzelstukjes te gebruiken uit computersimulaties van zwarte gaten. Een andere optie is om puzzelstukjes te maken uit foto's van andere objecten aan de sterrenhemel – zie afbeelding 5 voor een voorbeeld. Een probleem daarbij is dat we met de keuze van het algoritme geen invloed willen uitoefenen op de uiteindelijke resultaten. Daarom zou het algoritme een soortgelijk resultaat moeten geven, onafhankelijk van welke puzzelstukjes worden gebruikt, zelfs met puzzelstukjes gemaakt uit bijvoorbeeld selfies. Het algoritme kan ook uitgebreid getest worden door een gewone foto te nemen, het grootste deel van de pixels te verwijderen, en de computer met al die verschillende soorten puzzelstukjes de originele foto weer te laten reconstrueren.

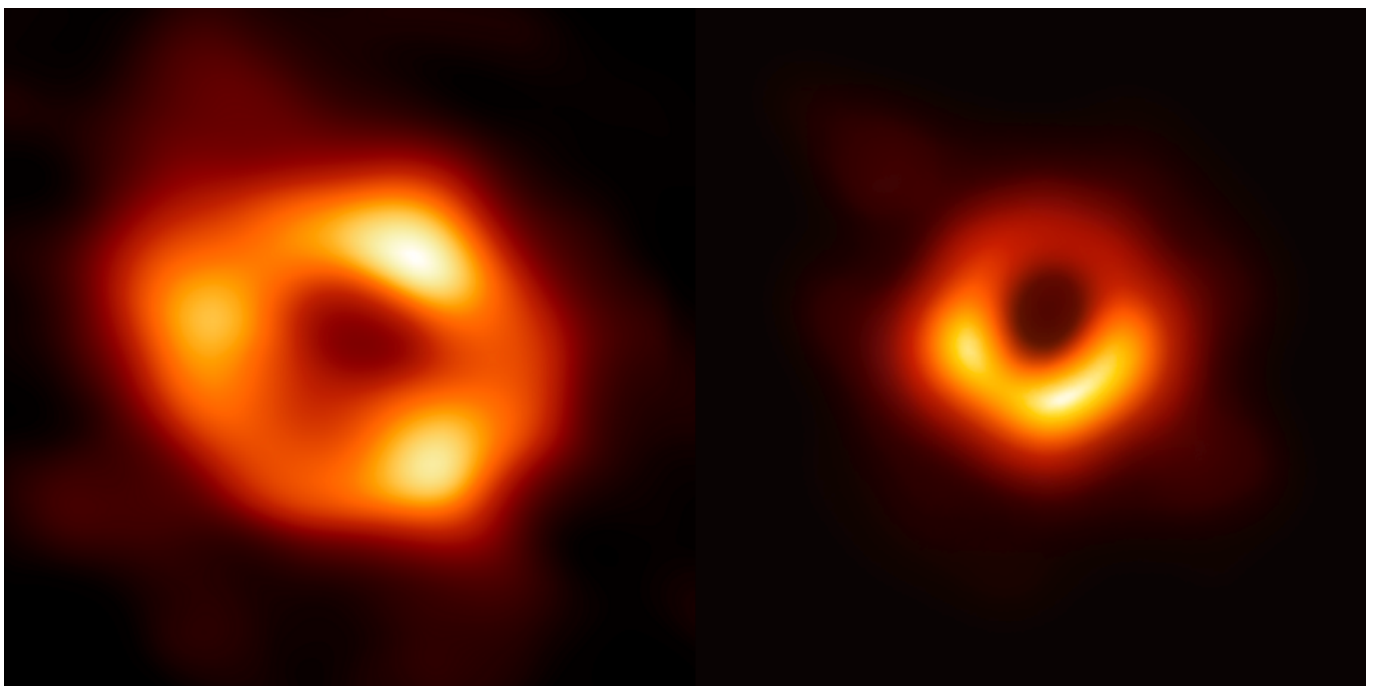


Afbeelding 5. Van puzzelstukjes tot foto. Links: Puzzelstukjes gemaakt uit deze astronomische foto. Rechts: Resultaat van het algoritme met gebruik van deze puzzelstukjes.

Een groot team van wetenschappers over de hele wereld heeft sinds 2009 aan dit enorme project gewerkt: van het doen van theoretische voorspellingen, via synchronisatie van de telescopen, tot het ontwikkelen van de algoritmes. Nadat de observationele data al in 2017 werden verzameld, duurde het nog respectievelijk twee en vijf jaar voordat de foto's van de zwarte gaten in het M87-stelsel en in de Melkweg compleet waren. Een grappig feit over de

observaties is dat de hoeveelheid data die daarbij werd verzameld zo groot was dat die niet over het internet verstuurd kon worden. De data werd op harde schijven van alle telescooplocaties met vrachtvliegtuigen naar een gezamenlijk onderzoekscentrum gevlogen, om daar het lange proces te beginnen dat uiteindelijk heeft geleid tot de plaatjes van de zwarte gaten die we nu zien.

Al met al is het fotograferen van zwarte gaten dus een enorm project, waarvoor een telescoop zo groot als de Aarde nodig is, en dat dankzij de vindingrijkheid van het team van wetenschappers resultaten heeft behaald die tot voor kort onmogelijk leken!



Afbeelding 6. Zwarte gaten op de foto. Links de nieuwe foto van het zwarte gat in onze Melkweg, rechts de foto van het zwarte gat in M87.

Bronnen

Dit artikel is gebaaseerd op de [TED talk van Katie Bouman](#); de presentatie daarvan is [hier te downloaden](#). Bron afbeelding 4: Avery Brodick. Bron afbeelding 6: [Event Horizon Telescope](#). Overige afbeeldingen uit de genoemde presentatie; bron: Event Horizon Telescope.