

Gravasterren: alternatief voor zwarte gaten?

Binnen een jaar nadat Albert Einstein zijn algemene relativiteitstheorie publiceerde, in 1915, was Karl Schwarzschild de eerste persoon die een oplossing van de Einsteinvergelijkingen opschreef. De Einsteinvergelijkingen beschrijven de kromming van de ruimtetijd en de oplossing die Schwarzschild vond, wordt tegenwoordig de Schwarzschildmetriek genoemd. Schwarzschild beschreef de kromming van de ruimtetijd - en dus de zwaartekracht - die buiten een ster gevonden wordt. Voor elk stervormig object - onafhankelijk van de dichtheid en samenstelling - wordt erbuiten eenzelfde zwaartekracht gevoeld en geldt dus dezelfde Schwarzschildoplossing.

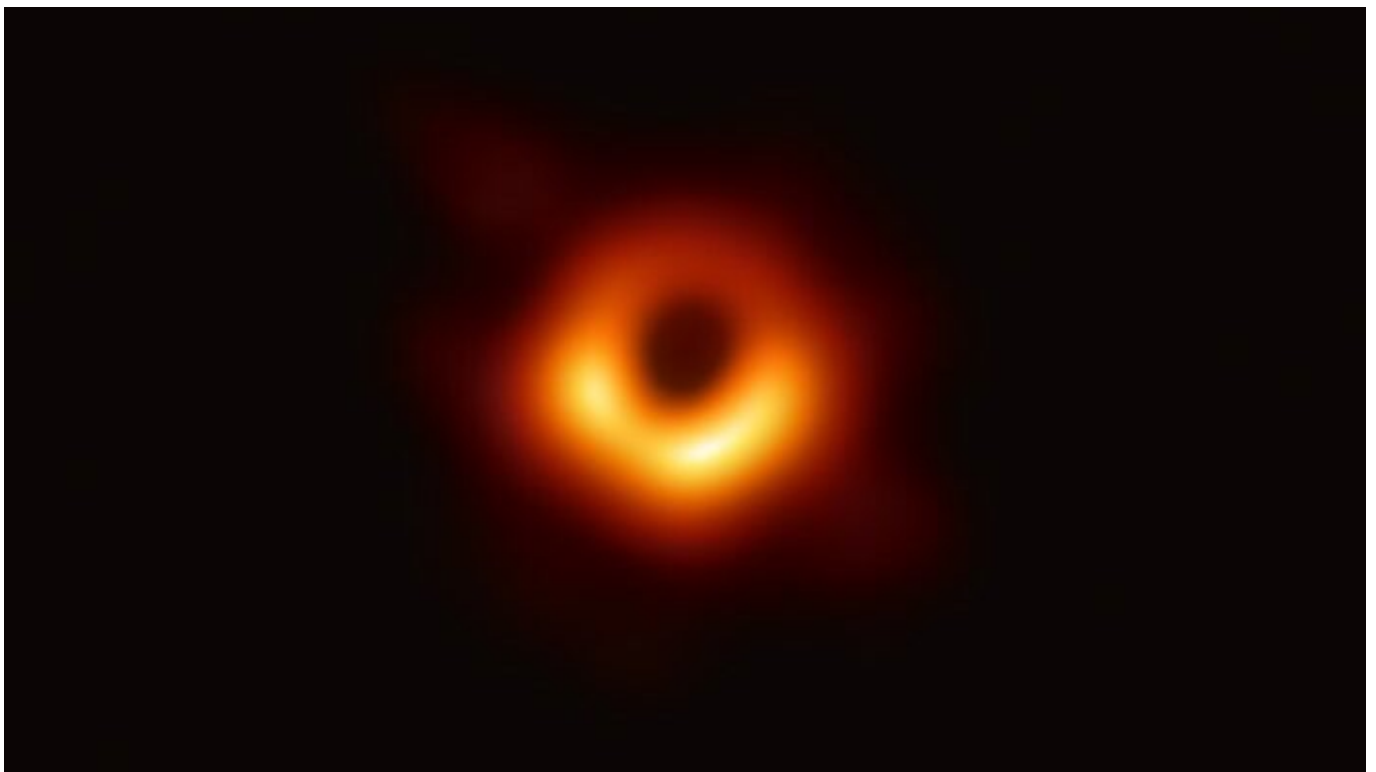


Foto van het zwarte gat in het sterrenstelsel M87.Afbeelding: [Event Horizon Telescope](#)

[collaboration](#).

Een oplossing van Einsteins vergelijkingen die de kromming van de ruimtetijd weergeeft wordt een '[metriek](#)' genoemd. De Schwarzschildmetriek op zichzelf heeft twee bijzondere eigenschappen. Ten eerste is er de [singulariteit](#), waarin de ruimtetijd oneindig krom wordt. Ten tweede is er de [horizon](#), een bolschil om de singulariteit waar je, eenmaal dichterbij de singulariteit dan de horizon, niet meer aan de singulariteit kunt ontsnappen. Dat is zeker niet voor elk stervormig object mogelijk: de zon, bijvoorbeeld, is veel groter dan zijn eigen horizon, en binnen de zon geldt de oplossing van Schwarzschild niet meer. Maar veel van de lezers zullen het nu al herkennen: Schwarzschild beschreef voor de gevallen waarin het object wél klein genoeg is de ruimtetijd van een (ongeladen, niet roterend) zwart gat! Zowel Einstein als Schwarzschild geloofde destijds niet dat deze zwarte gaten echt bestonden, en deden de singulariteit en horizon af als wiskundige artefacten van de theorie. Een 'echte' ster zou altijd een grotere straal dan de horizon hebben, en binnen die ster moest dan een andere beschrijving van de ruimtetijd worden gebruikt.

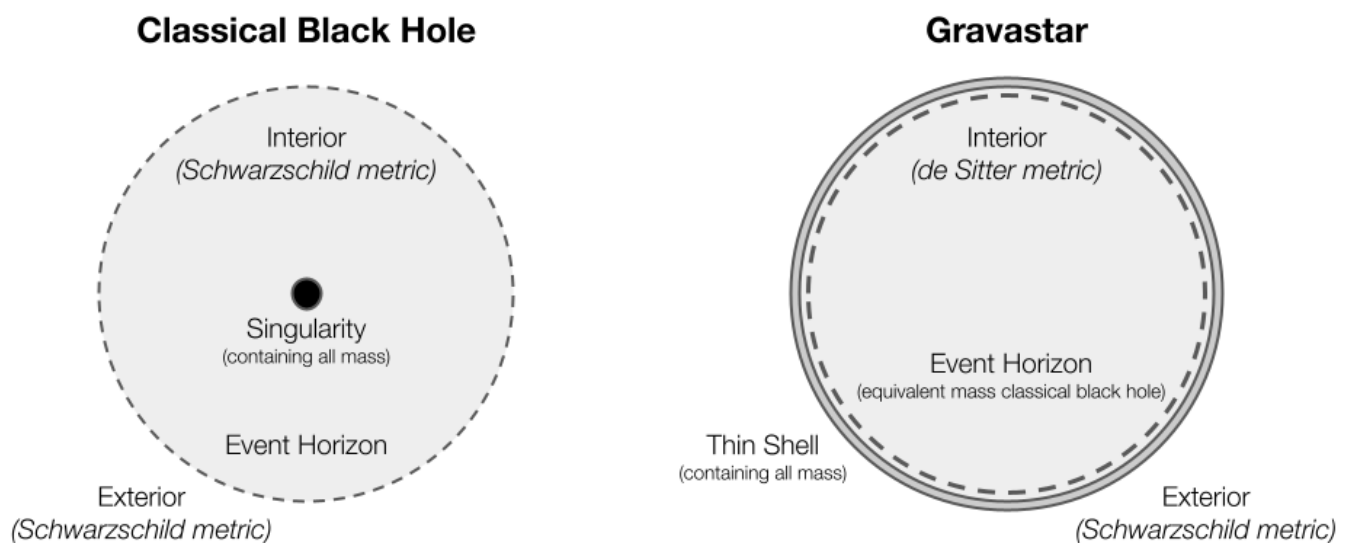
Het duurde tot ongeveer 1960 tot zwarte gaten meer algemeen geaccepteerd werden, maar nog steeds begrijpen we zeker niet alles van zwarte gaten. Zo is nog steeds niet duidelijk wat er precies gebeurt in de buurt van de singulariteit. De meeste natuurkundigen geloven niet dat deze singulariteiten echt bestaan, maar denken dat de theorie van Einstein gewoonweg hier ophoudt te werken. De hoop is dat een completere theorie van [quantumzwaartekracht](#) beter zou kunnen beschrijven wat er gebeurt in het centrum van een zwart gat, zonder dat er daadwerkelijk een singulariteit is. Ook de horizon leidt tot vragen: zo is er de [informatieparadox](#) die natuurkundigen lang bezighield. Tegenwoordig wordt door de meeste natuurkundigen aangenomen dat de informatieparadox toch geen paradox is (zie onder andere [dit artikel](#) op deze website), maar nog steeds worden niet alle aspecten van de oplossing van de paradox en dus van het bestaan van de horizon compleet begrepen.

Gravasterren: een alternatief?

Mede gemotiveerd door deze onbegrepen aspecten van zwarte gaten formuleerden [Pawel Mazur en Emil Mottola in 2001](#) een eventueel alternatief voor zwarte gaten: gravasterren. Zoals geldt voor elk (rond, niet-roterend en ongeladen) massief object, wordt de ruimtetijd buiten de gravaster beschreven door de Schwarzschildmetriek.

De gravaster heeft een net iets grotere straal dan de horizon van een zwart gat. Waar bij een zwart gat de ruimtetijd bij de horizon op het eerste gezicht heel gewoon lijkt – je zou in een groot zwart gat kunnen vallen zonder het zelf meteen door te hebben – is bij een gravaster wel degelijk iets te merken. Een gravaster heeft bovendien géén horizon, in tegenstelling tot het zwarte gat.

Net iets buiten de Schwarzschildstraal bevindt zich bij de gravaster een dunne schil van materie. Binnen deze bolschil is de gravaster weer ‘leeg’ en bevindt zich geen singulariteit. Binnen de bolschil is de metriek namelijk niet opnieuw de Schwarzschildmetriek, maar nu een andere oplossing van de Einsteinvergelijkingen: [De Sitter-ruimte](#). De Sitter-ruimte is een beschrijving van ruimtetijd met een positieve [kosmologische constante](#). Een gevolg van de positieve kosmologische constante is dat er [donkere energie](#) aanwezig is, en hierdoor duwt het binnenste van de gravaster naar buiten. Dit voorkomt dat de bolschil aan materie onder zijn eigen zwaartekracht ineenstort tot een zwart gat.



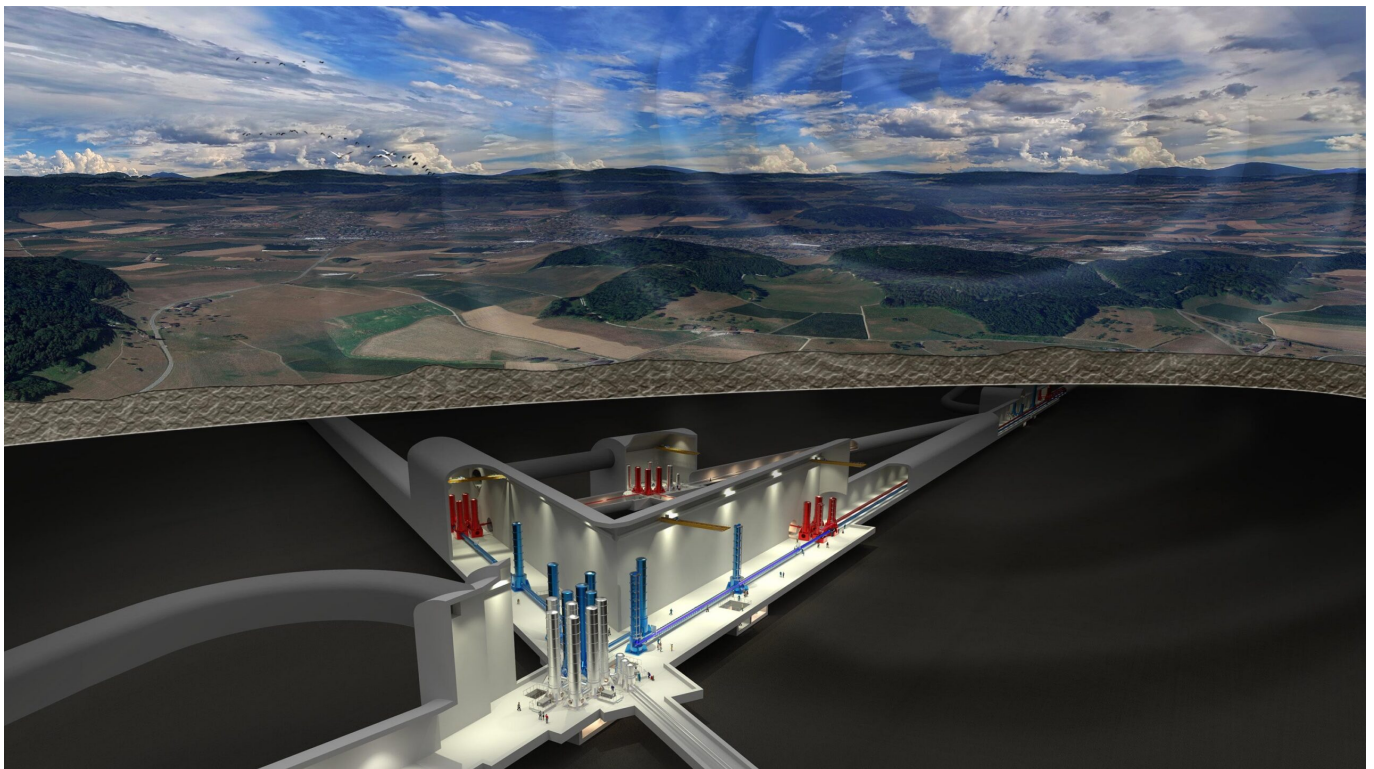
Een zwart gat en een gravaster.Afbeelding via [Wikimedia Commons](#).

De mysterieuze singulariteit en horizon van het zwarte gat zijn dus afwezig in het geval van gravasterren, maar er is nog een aspect van zwarte gaten dat we niet begrijpen en dat gravasterren omzeilen. Zwarte gaten hebben namelijk een [entropie die schaalt met de horizon](#). In het gebruikelijke beeld van entropie betekent dit dat er veel verschillende toestanden bestaan die we op afstand allemaal waarnemen als precies hetzelfde zwarte gat. Maar een zwart gat ziet er ook van dichtbij heel simpel uit: het heeft alleen een massa, een hoeveelheid rotatie en een lading. Het is een onopgelost probleem in de theoretische

natuurkunde wat dan al die toestanden zouden zijn die het zwarte gat zouden beschrijven. De gravastar heeft dat probleem niet: de entropie ervan ligt veel lager en in de schil van materie is van dichtbij wél structuur te zien, dus ook deze puzzel van zwarte gaten verdwijnt bij de gravaster.

De zwaartekracht die gevoeld wordt buiten een gravaster en een zwart gat is dus hetzelfde, wat zou betekenen dat ze van veraf moeilijk te onderscheiden zijn. De gravaster heeft zoals we gezien hebben echter veel minder mysterieuze aspecten dan het zwarte gat. Dit was voor Mazur en Motolla de reden om deze objecten beter te bestuderen en in overweging te nemen als eventueel alternatief voor een zwart gat dat in ons heelal zou kunnen voorkomen.

Er is echter ook kritiek op het voorstel van gravasterren. Zo wordt niet echt begrepen hoe ze zouden kunnen ontstaan. Mazur en Motolla suggereren dat het de eindtoestand kan zijn van een ineenstortende ster, maar simulaties hiervoor ontbreken nog. Deze bestaan wel voor het vormen van een zwart gat. Daarnaast suggereert dit [artikel](#) van Huan Yang, [Béatrice Bonga](#) en Zhen Pan dat gravasterren niet stabiel zijn: onder kleine verstoringen zouden ze alsnog ineenstorten tot een zwart gat.



Schets van de Einsteintelecoop. Afbeelding: [Einstein Telescope/Marco Kraan/Nikhef](#).

Zouden we kunnen testen of bijvoorbeeld het gefotografeerde zwarte gat in het

sterrenstelsel M87 echt een zwart gat is of een gravaster? Aangezien zwarte gaten en gravasterren heel anders in elkaar zitten, zullen ze ook anders reageren als ze worden verstoord. Als twee zware objecten op elkaar botsen, kan dat worden gemeten via zwaartekrachtsgolven. Welke objecten dit precies zijn, heeft invloed op het gedrag van die zwaartekrachtsgolven, en dan met name op de quasinormale tonen, eerder door Watse Sybesma beschreven [in dit artikel](#) op deze website. De quasinormale tonen van zwarte gaten zijn erg anders dan die van bijvoorbeeld gravasterren. Op dit moment zijn de detectoren die zulke zwaartekrachtsgolven kunnen meten nog niet nauwkeurig genoeg om het verschil te kunnen waarnemen. Maar bijvoorbeeld de [Einsteintelescoop](#), die misschien gebouwd gaat worden in Nederland, wordt al vele malen nauwkeuriger en zou wellicht zo'n verschil kunnen opmerken!

Het YouTube-account Kurzgesagt maakte ook al eens een video over gravasterren:

QU is sinds kort weer actief op Instagram! Volg ons voor nieuws en aankondigingen van nieuwe artikelen: <https://www.instagram.com/quantumuniverse.nl/>