

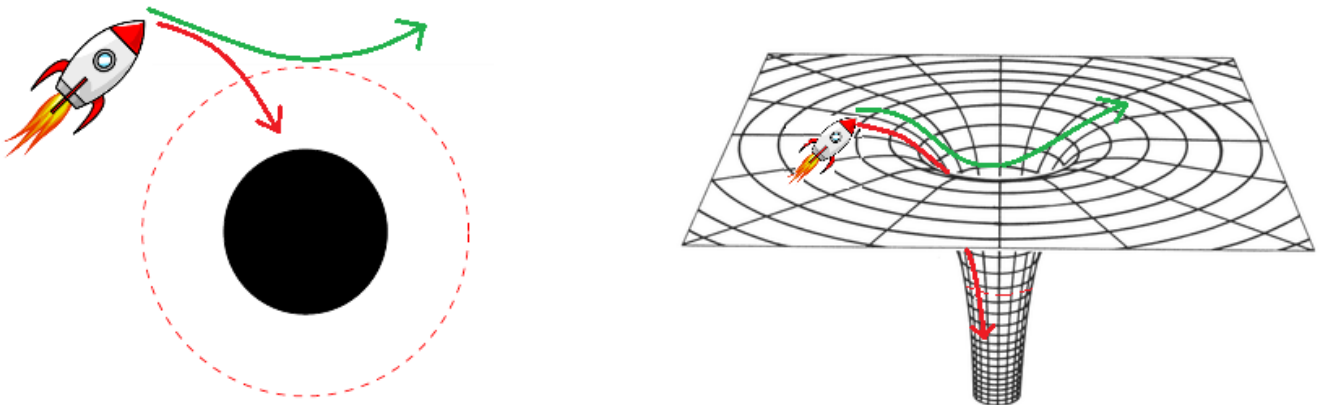
## Doorkruisbare wormgaten

*Sinds een paar weken draait hij weer in de bioscopen: Stanley Kubricks 2001: A Space Odyssey. Een klassieker en een must-see voor alle sciencefictionliefhebbers: de uitgekomen voorspellingen van deze film uit 1968 (tablets, Skype), de beklemmende stilte als de astronauten in hun eentje in de ruimte zweven, en de goed uitgewerkte angst voor kunstmatige intelligentie, maken de film zeer de moeite waard. En dan is er natuurlijk de waanzinnige eindscène "Jupiter and Beyond the Infinite". De hoofdpersoon verdwijnt in de buurt van Jupiter in een soort tunnel van licht en wordt er (na een, naar de hedendaagse filmstandaarden gemeten, vrij langdurige reis) heel ergens anders weer uitgeworpen. Kubrick heeft nooit commentaar op de film willen geven, maar voor de natuurkundeliefhebber doet de scène denken aan een wormgat: een verbinding tussen twee ver uit elkaar gelegen stukken ruimtetijd.*



Afbeelding 1. Gangen in de ruimtetijd? Hoewel een wormgat er niet zo spectaculair uit zal zien als in deze artist impression – van buiten zien we hetzelfde als bij een zwart gat – is het niet uitgesloten dat doorkruisbare gangen in de ruimtetijd wel degelijk bestaan. Afbeelding: [Genty](#).

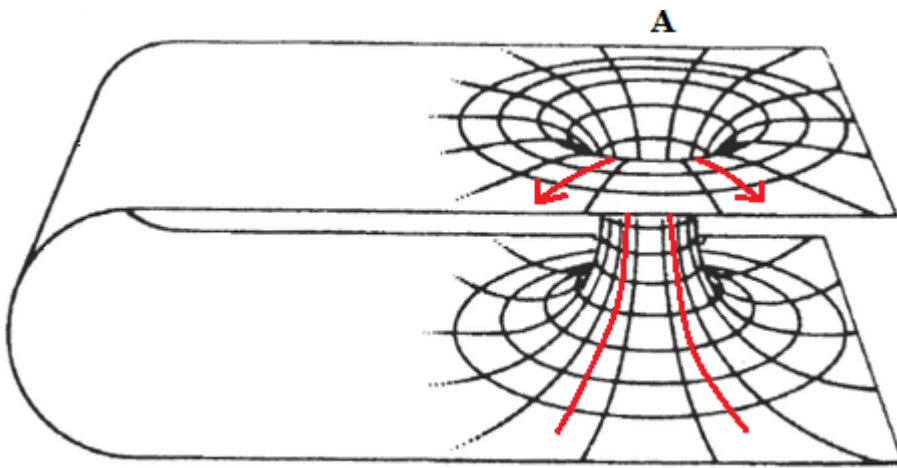
Albert Einstein beschreef in 1935 samen met zijn collega Nathan Rosen dat wormgaten exacte oplossingen zijn van de vergelijkingen van zijn algemene relativiteitstheorie. We kunnen een wormgat goed begrijpen als we eerst denken aan een bekender fenomeen: een zwart gat. In het [dossier over zwarte gaten](#) bespraken we al uitvoerig wat dat voor objecten zijn; hier noemen we nog eens een paar kenmerken. Links in afbeelding 2 zie je een zwart gat (een object waar de zwaartekracht zó sterk is dat zelfs licht niet kan ontsnappen) en een naderende raket. Volgens Einstein moeten we zwaartekracht zien als kromming van de ruimtetijd. Dit zie je in de afbeelding rechts (met dezelfde raket): het zwarte gat veroorzaakt een heel sterke kromming van de ruimtetijd, een soort trechter. De raket kan daar veilig omheen reizen en er zelfs een klein beetje in en weer uit gaan: de groene lijn. Er is echter een *horizon* (de rode gestippelde lijn) waarvoorbij de raket voor de buitenwereld verloren is: hij kan daar niet meer aan de zwaartekracht ontsnappen en stevent ontegenzeggelijk op de *singulariteit* onderin de trechter af.



Afbeelding 2. Een raket bij een zwart gat. Een zwart gat veroorzaakt een heel sterke kromming van de ruimtetijd, waardoor een raket gemakkelijk – en binnen de horizon zelfs: onherroepelijk – naar binnen getrokken

wordt.

Vorbij de horizon van het zwarte gat kunnen we van buitenaf niets zien; je zou je dus kunnen afvragen wat daar precies zit. In plaats van een einde aan de trechter te hebben (de singulariteit) zouden we ons ook kunnen voorstellen dat de trechter zich weer opent. Dit is het idee achter een wormgat. Alleen een idee in de vorm van een plaatje is natuurlijk niet genoeg, maar zoals Einstein en Rosen aantoonde blijkt zo'n wormgat ook daadwerkelijk een oplossing van Einsteins vergelijkingen te zijn. Een wormgat wordt daarom ook wel een *Einstein-Rosenbrug* genoemd. Er zijn twee opties: het wormgat zou twee stukken van *dezelfde* ruimtetijd kunnen verbinden, zoals geschetst in afbeelding 3, of het zou een brug kunnen vormen tussen twee heel verschillende ruimtetijden die niet op een "gewone" manier verbonden zijn. Beide gevallen zijn nogal spannend: met het eerste zouden we heel snel naar een ander punt (en mogelijk een heel ander tijdstip) in het heelal kunnen reizen, en met het tweede komen we in een totaal ander universum terecht.



Afbeelding 3. Een wormgat. Een wormgat dat twee stukken van dezelfde ruimtetijd verbindt.

Er zijn helaas nogal wat problemen die het reizen door een wormgat niet eenvoudig maken. Het blijkt dat wormgaten in principe niet stabiel zijn en heel snel zullen splitsen in twee individuele zwarte gaten. Voor het bestaan van stabiele wormgaten is 'exotische materie' nodig: materie met negatieve energie. Dat klinkt een beetje gek, en dat is het ook: meestal

nemen natuurkundigen aan dat energie altijd positief is. In dit geval is hetzelfde probleem ook te formuleren door te observeren dat zwaartekracht een aantrekkende kracht is, wat betekent dat zelfs lichtstralen naar elkaar toe bewegen. In de schets in afbeelding 3 zien we echter al dat twee lichtstralen die, zoals verwacht, focussen als ze het wormgat ingaan, noodzakelijkerwijs *uit elkaar bewegen* als ze het wormgat verlaten. Dat mag zoals gezegd volgens de klassieke natuurkunde niet, en daarom zijn wormgaten niet 'doorkruisbaar'.

We bespraken op deze site al eerder de 'formule'  $ER = EPR$ . ER staat hierin voor Einstein-Rosenbrug (een wormgat, dus), en EPR voor *Einstein-Podolsky-Rosenparen*: [verstrengelde deeltjes](#). Het idee van  $ER=EPR$ , afkomstig van de natuurkundigen Leonard Susskind en Juan Maldacena, is dat we de uiteinden van het wormgat kunnen zien als twee verstrengelde deeltjes. Nu hebben we op deze site ook al eens besproken dat we met zulke deeltjes [quantumteleportatie](#) mogelijk kunnen maken. Het idee daarvoor is als volgt. Twee fictieve onderzoekers – die we meestal Alice en Bob noemen – hebben allebei één van de verstrengelde deeltjes bij zich, respectievelijk  $a$  en  $b$ . Stel dat Alice nu een quantummechanische toestand, een [qubit](#)  $q$ , wil versturen naar Bob. Ze moet daarvoor een gecombineerde meting doen aan haar deeltjes  $a$  en  $q$  (die daardoor in een specifieke "klassieke" toestand terechtkomen), en de uitkomst aan Bob vertellen, bijvoorbeeld over de telefoon. Bob doet naargelang die uitkomst volgens een vast recept iets met zijn qubit  $b$ , die daardoor verandert in het oorspronkelijke quantumbit  $q$ . Zo is de volledige quantumtoestand  $q$  dus van Alice naar Bob geteleporteerd. Belangrijk in dit verhaal is het klassieke informatiekanaal, de telefoon in ons voorbeeld: dat is absoluut noodzakelijk voor de teleportatie.

Geïnspireerd door  $ER=EPR$  en dit concept – dat teleportatie van gecompliceerde quantumtoestanden mogelijk is als we eenvoudige klassieke informatie doorgeven – hebben de theoretisch natuurkundigen Ping Gao, Daniel Jafferis en Aron Wall in 2016 een manier gevonden om een ER-brug of wormgat wél doorkruisbaar te maken. Het idee is simpel: de uiteindes van het wormgat moeten ook met elkaar verbonden worden (net zoals Alice en Bob verbonden zijn met een telefoonlijn). Dit zorgt ervoor dat een signaal wel degelijk door het

wormgat kan reizen; het effect is hetzelfde als hypothetische negatieve energie toevoegen aan het wormgat.

Er zitten wel wat haken en ogen aan deze oplossing, die slecht nieuws zijn voor de science fiction. Ten eerste plaatsten Gao, Jafferis en Wall hun fictieve wormgat in een “negatief gekromde” ruimtetijd (een zogeheten Anti-de Sitterheelal), wat niet overeenkomt met ons eigen universum, dat positief gekromd blijkt te zijn (een zogeheten de Sitterheelal). De onderzoekers verwachten echter wel dat ze hun protocol kunnen uitbreiden naar andere types ruimtetijd. Het tweede probleem is meer essentieel: we zullen nooit sneller door zo’n wormgat kunnen reizen dan met de route die niet door het wormgat gaat (‘buitenlangs’ in afbeelding 3), net zoals we bij de EPR-paren eerst met een “klassieke” telefoon moeten bellen voor we het deeltje kunnen teleporteren. Gao, Jafferis en Wall schrijven in hun artikel: “Doorreisbare wormgaten zijn als bankleningen. Je kunt er pas een krijgen als je rijk genoeg bent om er geen nodig te hebben.”

Situaties als in *2001: A Space Odyssey* zullen we dus niet direct krijgen, maar de ontdekking van Gao, Jafferis en Wall is wel heel interessant voor natuurkundigen: het signaal dat van de ene naar de andere kant reist, gaat wel degelijk door het wormgat en ‘weet’ zelfs iets van de binnenkant van het zwarte gat. De kunst is om die informatie te ontfutselen, desnoods in fictieve voorbeelden – een echt wormgat hebben we natuurlijk niet zo snel tot onze beschikking. Maar ook zulke theoretische informatie over de binnenkant van een zwart gat is al bijzonder interessant, want dát is nou precies waar veel theoretisch natuurkundigen graag meer over willen leren.