

Een Nederlandse zwaartekrachtgolfdetector?

Op de Quantum Universe-website is al veel geschreven over zwaartekrachtgolven. Over [de eerste keer dat ze werden waargenomen](#), [over de detectoren](#) waarmee ze zijn gemeten, en bijvoorbeeld over de [Nobelprijs](#) die werd uitgereikt voor het detecteren van die golven. Nu zijn er plannen om een nieuwe detector voor zwaartekrachtgolven te bouwen: de Einsteintelecoop. Die toekomstige telescoop wordt wel vergeleken met de deeltjesversneller in CERN. Niet omdat er ook deeltjes op elkaar gaan botsten, maar omdat het net zo'n enorm project is, waarin we misschien wel nieuwe fundamentele natuurkunde gaan ontdekken. Er bestaat een flinke kans dat die telescoop dichtbij gaat worden gebouwd: Nederland is een van de serieuze kandidaten om de Einsteintelecoop te huisvesten!



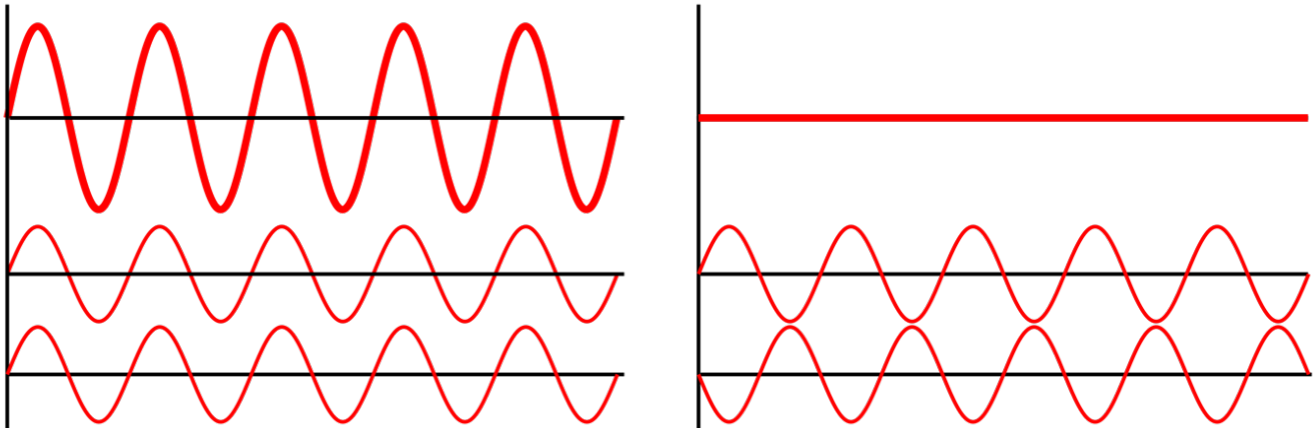
Afbeelding 1. LIGO en Virgo. Links zien we het LIGO-observatorium in Livingston. Het middelste plaatje is het LIGO-observatorium in Hanford, en rechts is Virgo afgebeeld, de telescoop vlakbij Pisa. Foto: LIGO Scientific Collaboration.

Eerst even een opfrisser: wat zijn zwaartekrachtgolven ook alweer? In de [algemene relativiteitstheorie van Albert Einstein](#) wordt het universum beschreven in termen van de

ruimtetijd. Die ruimtetijd kan verschillende vormen aannemen. Objecten volgen een pad dat afhangt van de vorm van de ruimtetijd, en massa's vervormen op hun beurt weer die ruimtetijd. Ruimtetijd kan ook rimpelen, en deze rimpelingen worden zwaartekrachtgolven genoemd. Die zwaartekrachtgolven zijn al in 1916 door Einstein voorspeld. Ze zijn pas zo'n honderd jaar later, op 22 september 2015, direct waargenomen met de telescopen LIGO en Virgo.

Hoe worden zulke zwaartekrachtgolven waargenomen? De LIGO- en Virgo-detectoren bestaan elk uit twee lange armen van ongeveer 4 kilometer lengte, zoals te zien is in afbeelding 1. Laten we nu voor het gemak ervan uitgaan dat een zwaartekrachtgolf in de richting van één van die armen langskomt. Dat betekent dat de ruimtetijd in de richting van die arm een beetje rimpelt en dat de ruimte tussen het begin en het eind van die arm tijdelijk een beetje groter of kleiner wordt. In de richting van de andere arm gebeurt echter niets: de lengte van die arm blijft hetzelfde. De telescopen kunnen dit verschil meten door middel van een laserstraal. Als we kunnen vaststellen dat de ene arm tijdelijk wat langer was dan de andere, weten we dus dat er een zwaartekrachtgolf is langsgekomen!

Om te weten hoe de telescopen zo'n ruimteverschil hebben gemeten, moeten we iets meer weten over wat licht precies is. Lichtgolven, het woord zegt het al, zijn golven. Op een punt waar twee golven samenkomen, is er sprake van *interferentie*. Er ontstaat een nieuwe golf, die de optelsom is van de twee oorspronkelijke golven. Als de twee golven *in fase* zijn, wat betekent dat de pieken van de golven samenvallen, versterken ze elkaar: dat heet *constructieve interferentie*. Daarentegen kan het ook het geval zijn dat de golven precies *uit fase* zijn: dan valt de piek van de ene golf samen met het dal van de andere. Het gevolg is dan dat de twee golven elkaar opheffen; dit noemen we *destructieve interferentie*. De golven kunnen natuurlijk ook een beetje uit fase zijn - de resulterende golf zal dan in sterkte tussen de twee uitersten in zitten. In afbeelding 2 wordt interferentie gevisualiseerd.



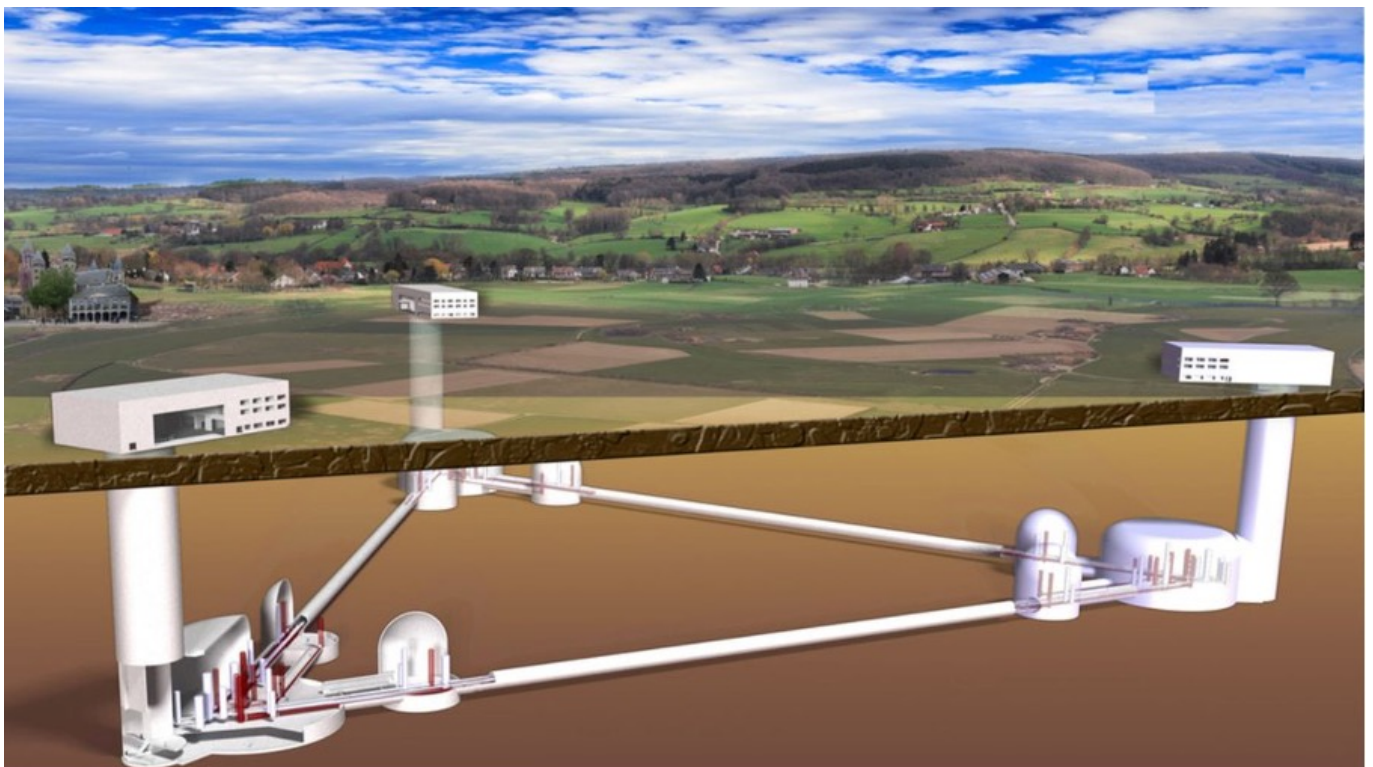
Afbeelding 2. Interferentie. In de linkerafbeelding zien we constructieve interferentie, waarbij twee golven die in fase zijn elkaar versterken. Het resultaat is een golf met grotere amplitude. Op de rechterafbeelding zien we juist twee golven die volledig uit fase zijn en elkaar opheffen: dit heet destructieve interferentie. Afbeelding: Wikimedia Commons.

Om te begrijpen hoe licht nu gebruikt wordt om het verschil in ruimte in de twee armen van een detector te meten, is nog één stukje kennis nodig: licht reist altijd met precies dezelfde snelheid door de ruimtetijd, 299792458 meter per seconde. Dit betekent dat wanneer een arm een klein beetje langer wordt doordat er een zwaartekrachtgolf langskomt, het licht er iets langer over doet om van de ene kant van de arm naar de andere te komen.

De wetenschappers van LIGO en Virgo sturen dus in beide armen een laserstraal. Aan het einde van die armen plaatsen ze spiegels. Nadat het licht een paar keer heen en weer door de armen is gereisd, worden de laserstralen uit beide armen weer samengevoegd. De laserstraal wordt zo ingesteld dat de lichtgolven normaal gesproken precies destructief interfereren en elkaar dus opheffen. Zodra de ene arm echter een klein beetje langer is geworden, loopt de bijbehorende lichtgolf een klein beetje achter op de andere. Daardoor vallen de pieken van de laserstraal uit die arm niet meer samen met de dalen van de straal uit de andere arm. Het resultaat is dat de wetenschappers een klein signaal meten, en zo weten dat er een zwaartekrachtgolf is geweest! Door het signaal van de drie telescopen met elkaar te vergelijken, kunnen ze bovendien berekenen wáár de zwaartekrachtgolven vandaan kwamen.

Nu zijn er dus plannen voor een nieuwe zwaartekrachtgolfdetector: de Einsteintelecoop. Wat is er nieuw aan deze telescoop? Sowieso is sinds het bouwen van LIGO en Virgo de techniek een stuk vooruitgegaan, waardoor men al een betere telescoop zou kunnen bouwen. Maar

daarnaast zijn er nog drie opvallendere verbeteringen aan de Einsteintelecoop ten opzichte van LIGO en Virgo. Ten eerste is het plan dat de Einsteintelecoop zo'n 250 tot 300 meter onder de grond wordt gebouwd, zoals te zien is in afbeelding 3. Het voordeel hiervan is dat trillingen van andere bronnen, zoals langsrijdende vrachtwagens, worden geminimaliseerd. Zulke trillingen verstoren namelijk al heel snel de metingen van de minuscule effecten van de zwaartekrachtgolven. Daarnaast gaat de Einsteintelecoop niet twee armen hebben, zoals LIGO en Virgo, maar drie! Hierdoor wordt het interferentiepatroon van de lichtgolven op drie plekken gemeten, in plaats van op één, waardoor het signaal een stuk nauwkeuriger kan worden vastgesteld. Tot slot zijn die armen ook veel langer dan die van LIGO en Virgo: 10 kilometer in plaats van 4. Hierdoor wordt die verschuiving van de pieken en dalen van de lichtgolven nog wat extra versterkt, waardoor de zwaartekrachtgolf nog beter waargenomen kan worden. Al met al zouden deze verbeteringen ervoor moeten zorgen dat de Einsteintelecoop tot wel duizend keer preciezer metingen kan doen dan LIGO en Virgo!



Afbeelding 3. De Einsteintelecoop. Een artist impression van de Einsteintelecoop, die drie armen zal krijgen en onder de grond gaat worden gebouwd. Afbeelding: Nikhef.

Het is nog onduidelijk waar deze Einsteintelecoop gaat komen, maar een van de grote kanshebbers is vlakbij: de Einsteintelecoop komt misschien in Limburg! In het puntje van Zuid-Limburg, bij de grens met België en Duitsland, om precies te zijn. Die plek is geschikt,

ten eerste omdat Nederland, België en Duitsland veel goede universiteiten hebben en het instituut daardoor kan profiteren van de kennis en expertise in de buurt. Maar daarnaast is er ook een reden van meer geologische aard: de grond in Zuid-Limburg zou wel eens uitermate geschikt kunnen zijn voor de telescoop. De bovenste laag is relatief zacht en kan goed de trillingen van het leven boven de grond dempen. Daaronder ligt juist een hardere rotslaag, waarin tunnels kunnen worden geboord en de telescoop stabiel kan worden aangelegd.

Hoe goed de kwalificaties van ons land dan ook klinken, het is nog niet zeker dat de telescoop daadwerkelijk naar Nederland komt. Het is ook nog mogelijk dat de telescoop op Sardinië wordt gebouwd. Die locatie is ook gunstig, omdat Sardinië op de *Iberische microplaat* ligt. Dat is een kleine tektonische plaat die niet verbonden is met de meest actieve tektonische zones. Hierdoor zijn er relatief weinig trillingen vanuit de grond. Daarnaast is het voorstel daar om de Einsteintelecoop in een gebied te bouwen waar heel weinig mensen wonen, wat ook weer gunstig is voor de bestrijding van de achtergrondruis in de telescoop.

De verwachting is dat in 2025 of 2026 definitief wordt bepaald waar de telescoop gaat worden gebouwd. Vervolgens zal de bouw beginnen rond 2028, en is het doel dat de Einsteintelecoop in 2035 in gebruik kan worden genomen. Als de telescoop er eenmaal is, is de grote vraag natuurlijk wat we er allemaal van gaan leren. In hoeverre is [Einsteins relativiteitstheorie](#) nog geldig bij de botsing of het ontstaan van zwarte gaten? Zouden we misschien [wormgaten](#) kunnen meten met zwaartekrachtgolven? Niemand weet het, maar dát we iets gaan leren, staat vast.