

Het quantuminternet komt tot leven met een recordverbinding tussen Delft en Den Haag



Onderzoekers Kian van der Enden en Arian Stolk op het verbindingspunt halverwege de qubits in Den Haag en Delft.

Een belangrijke mijlpaal voor het toekomstig quantuminternet is gelegd door een internationaal team onder leiding van wetenschappers van het Delftse QuTech. Zij verstrengelden qubits tussen Delft en Den Haag via een bestaande glasvezelverbinding met een recordafstand van 25 kilometer.

Quantuminternet

Het huidige internet is niet meer weg te denken uit onze samenleving. Er wordt over de hele wereld ook al hard gewerkt aan de toekomstige versie van het internet, namelijk de quantumversie. Deze verzendt quantumbits, oftewel qubits, in plaats van informatie in de vorm van nullen (0) en enen (1). De qubits kunnen 0, 1 of beide tegelijk zijn én met elkaar verstrengeld worden, wat betekent dat hun quantumtoestand hen met elkaar verbindt, ongeacht hun onderlinge afstand. Qubits kunnen daarmee een unieke, niet te bespioneren code genereren en daarmee superveilig internetverkeer mogelijk maken.

Nederland loopt voorop met de ontwikkeling van het quantuminternet. Onderzoekers, onder leiding van hoogleraar Ronald Hanson van het Delftse instituut QuTech, een samenwerkingsverband tussen de TU Delft en TNO, legden hier al eerder de bouwstenen voor. Een belangrijke mijlpaal vond plaats in 2015 toen ze op de Delftse universiteitscampus aantoonde dat de verbondenheid van twee deeltjes door quantumverstrengeling inderdaad niet beperkt is door de snelheid van het licht [1]. In 2021 resulteerde hun werk in het eerste quantumnetwerk met drie verschillende knooppunten [2]. En een jaar later toonden ze quantume-

leportatie aan tussen de drie knooppunten [3]. Alle drie dus unieke mijlpalen richting een bruikbaar quantuminternet!

De echte wereld in

Maar dat iets werkt in een lab, betekent nog niet dat het makkelijk is om het daarbuiten werkend te krijgen.

De stap naar een functionerend quantuminternet kent namelijk een aantal uitdagingen. Zo konden de opstellingen in het lab met qubits als knooppunten nog als één systeem beschouwd worden. Maar door de afstand en de relatief langere communicatietijden tussen de opstellingen, moeten de opstellingen nu volledig onafhankelijk van elkaar werken.

Daarbovenop is er een probleem met het verlies van fotonen. De qubits zijn van diamant met een zogenoemd *nitrogen-vacancy center* en deze gebruiken fotonen in het zichtbare gebied, die een verzwakking van 10 dB/km (oftewel een miljard maal verzwakking na tien kilometer) in een glasvezel hebben. Door de golflengte van de fotonen om te zetten naar de telecomband, kan deze verzwakking beperkt worden naar 0,3 dB/km (oftewel 50% verzwakking na tien kilometer).

De verzwakking vereiste ook een nieuwe manier om de verstrengeling tot stand te brengen. Ze vonden een nieuwe methode, die het voordeel heeft dat het gunstig schaalbaar is met het fotonverlies. Bijkomend nadeel is dat deze methode vereist dat de gehele communicatielink gestabiliseerd wordt, zodat de fotonen niet uit fase raken. Dit moet tot op een schaal gelijk aan de golflengte van de fotonen, in dit geval 100 nanometer op 25 kilometer glasvezel. Ter vergelijking: het is alsof je de afstand van de aarde tot de maan met een paar millimeter precisie constant houdt. Een speciaal project vraagt ook om een speciaal consortium. Het Fraunhofer Instituut in Duitsland ontwikkelde een nieuwe golflengte-converteerder om het zichtbare licht om te zetten naar de telecomband. OPNT uit Delft zorgde voor timing-

apparatuur en het Duitse bedrijf Toptica leverde speciale lasers. De substraten voor de qubit-chips kómen van het Britse Element Six. KPN verzorgde de glasvezelverbinding, samen met twee locaties voor het testnetwerk.

Quantumbrowsen

De quantumverbinding kwam tot stand tussen de steden Delft en Den Haag. Hierbij gebruikten de onderzoekers een bestaande glasvezelverbinding met drie punten, waarbij één punt als tussenstation werkte. Het knooppunt Delft had een afstand van vijftien kilometer en het knooppunt Den Haag had een afstand van tien kilometer tot het middelste punt, in totaal dus een recordafstand van 25 kilometer glasvezel! De knooppunten zonden fotonen verstrengeld met hun qubits naar het tussenstation, waar gezamenlijke meting van de fotonen de twee qubits met elkaar verstrengelde. Het systeem geeft een signaal bij elke succesvolle verstrengeling en hiermee toonde het team aan dat een quantuminternetverbinding tussen Delft en Den Haag tot stand was gebracht [4].

Ronald Hanson zegt over vervolgstappen dat ze een paar jaar geleden gestart zijn met de ontwikkeling van de volgende generatie qubit-hardware, die goed opgeschaald kan worden met geïntegreerde fotonica. “Die hardware, onderdeel van een nieuwe spin-off van de TU Delft, zal naar verwachting over een jaar of twee ook buiten het lab ingezet kunnen worden, met een sprong zowel in de kwaliteit van de verstrengeling als in de snelheid waarmee die gemaakt kan worden”, aldus Hanson.

REFERENTIES

- 1 Bas Hensen et al., *Loophole-free Bell inequality violation using electron spins separated by 1.3 kilometres*, *Nature* **526**, 682-686 (2015).
- 2 Matteo Pompili et al., *Realization of a multinode quantum network of remote solid-state qubits*, *Science* **372**, 259-264 (2021).
- 3 Sophie Hermans et al., *Qubit teleportation between non-neighbouring nodes in a quantum network*, *Nature* **605**, 663-668 (2022).
- 4 Arian J. Stolk et al., *Metropolitan-scale heralded entanglement of solid-state qubits*, *Science Advances* **10**-44 (2024).