

## Teleportatie, geslaagd!

Het is Delftse onderzoekers van QuTech gelukt om informatie te ‘teleporteren’ over een meerdelig quantumnetwerk. Dit is de eerste keer dat mogelijkheid van quantumteleportatie is aangetoond tussen twee qubits die geen directe verbinding met elkaar hebben.

Twee maanden geleden beschreef ik op deze website [’s werelds eerste quantumnetwerk](#), bestaand uit drie netwerkknooppunten die we Alice, Bob en Charlie noemen. Deze knooppunten bevatten ieder een diamantchip met een of meer quantummechanische bits, oftewel *qubits*, en zijn verspreid over twee laboratoria van de TU Delft. Het bijzondere aan qubits is dat ze zich naast toestanden die de waarden 0 en 1 weergeven, ook in quantummechanische toestanden kunnen bevinden die ‘daartussenin’ liggen. En – belangrijk – qubits kunnen met elkaar *verstrengeld* worden, zodat de hun eigenschappen aan elkaar gekoppeld zijn.

Werken aan zo’n netwerk is van groot belang, omdat het de basis moet vormen van het toekomstige *quantuminternet*. Deze speciale versie van het internet is ultraveilig, omdat er voor het beveiligd delen van informatie gebruik wordt gemaakt van de quantummechanische eigenschappen van qubits. Wie zich hier meer in wil verdiepen, kan een uitstapje maken naar onze serie over [quantumsleutels](#).

Dan is de vraag: hoe kun je quantuminformatie effectief delen tussen netwerkknooppunten die ver uit elkaar liggen? Eén manier om dit te doen, is door licht door glasvezelkabels te sturen. Het nadeel van deze methode is echter dat sommige lichtdeeltjes onderweg verloren gaan, iets wat erger wordt naarmate de kabelverbinding langer wordt. Omdat quantuminformatie nooit gekopieerd kan worden, een eigenschap die bekend staat als het *no-cloning theorem*, betekent ieder verloren lichtdeeltje dat er quantuminformatie voor altijd verloren gaat.

Het grote nieuws van de afgelopen week is dat het onderzoekers van QuTech is gelukt om in plaats van het gebruik van lange kabels, quantuminformatie te *teleporteren* van Charlie naar

Alice, de twee uiteinden van hun quantumnetwerk. Net zoals in science fictionfilms verdwijnt het versleutelde quantumbericht bij Charlie, en komt het tegelijkertijd (!) aan bij Alice. De quantuminformatie hoeft daarbij niet 'fysiek' de afstand tussen Alice en Charlie te overbruggen, waardoor de kans op verloren informatie veel kleiner is.

Video 1. Teleportatie in een driedelig quantumnetwerk. Deze animatie vat samen waar de onderzoekers van QuTech in zijn geslaagd. Bron: [QuTech](#).

## Stap-voor-stap teleporteren

Het teleporteren van quantuminformatie is niet zo simpel als *Star Trek* je misschien doet geloven. Het hele proces bestaat uit meerdere stappen:

Stap 1 is om de qubits van Alice en Charlie met elkaar te verstrengelen. Hoe verstrengeling op zichzelf werkt heb ik in [dit eerdere artikel](#) toegelicht. De twee quantumprocessors hebben geen directe verbinding met elkaar, maar wel met hun gezamenlijke buurman Bob. Om Alice en Charlie met elkaar te verstrengelen, worden eerst de qubits van Alice en Bob met elkaar verstrengeld. Bob gebruikt daarna een tweede 'geheugen-qubit' om zijn deel van de verstrengelde toestand op te slaan. Daarna maakt hij een tweede verstrengelde toestand met Charlie. Met behulp van een speciaal soort meting verstrengelt Bob daarna de quantumtoestanden van Alice en Charlie. Nu zijn de qubits van Alice en Charlie met elkaar verstrengeld, zodat een meting aan de ene qubit ook direct de toestand van de andere qubit verandert.

In stap 2 moet het bericht klaargemaakt worden. Het 'bericht' is in dit geval een quantummechanische toestand: 0, 1, of een superpositie van de twee. (In de notatie die ik in het vorige artikel introduceerde beschrijf je deze toestand als  $a|0\rangle + b|1\rangle$ , waar  $a$  en  $b$  complexe getallen zijn.) Deze toestand wordt klaargezet op een van Charlies geheugen-qubits.

In stap 3 wordt het quantumbericht geteleporteerd van Charlie naar Alice. Om dit te doen, voert Charlie een gezamenlijke meting uit op zijn geheugen-qubit en de toestand die met Alice is verstrengeld. (Voor de kenners: deze soort meting heet een [`Bell state measurement`](#), oftewel een Bell-toestandmeting.) Door deze meting verdwijnt de quantuminformatie aan Charlies kant, en komt tevoorschijn aan de kant van Alice. Het teleporteren is uitgevoerd met verschillende quantumtoestanden, waarmee is bewezen dat het proces niet afhangt van wat het bericht precies is.

Nu heeft Alice het quantumbericht van Charlie ontvangen, maar kan het nog niet lezen, omdat het 'vergrendeld' is. Stap 4 is dus het ontgrendelen van de verzonden quantuminformatie. Om dit te doen, stuurt Charlie Alice de uitkomst van de meting aan zijn qubits. Deze informatie is 'klassiek' (bestaat uit gewone enen en nullen), waardoor die makkelijk gedeeld kan worden. Dat deze sleutel ook makkelijk afgeluisterd kan worden, maakt niet uit, omdat alleen Alice toegang heeft tot de oorspronkelijk verzonden quantumtoestand. Aan de hand van Charlies meetuitkomst past Alice de juiste soort operatie toe op haar qubit, waarna die klaar is voor gebruik. De teleportatie is geslaagd!

## Bron

[Qubit teleportation between non-neighboring nodes in a quantum network](#), S.L.N. Hermans, M. Pompili, H.K.C. Beukers, S. Baier, J. Borregaard, and R. Hanson, *Nature*, 2022, DOI: [10.1038/s41586-022-04697-y](https://doi.org/10.1038/s41586-022-04697-y)