

## THEMA TRENDS IN HARDWAREONTWIKKELING

# OP WEG NAAR QUANTUMVOORDEEL: QUBITS AANSTUREN MET DUIZEND TEGELIJK

**Quantumtechnologie heeft een grote aantrekkingskracht op wetenschap en industrie.**

**Het is ook vruchtbare grond voor nieuwe bedrijvigheid en nieuwe specialismen.**

**Het onlangs opgerichte Qblox uit Delft focust op de aansturing van quantumcomputers.**

Jules van Oven

Niels Bultink

Quantum is hot. It-giganten als Google, IBM en het Chinese Alibaba stappen massaal in deze nieuwe technologie. Nederland is een van de spinners in dit web. Binnen Qutech werken TNO en de TU Delft onder meer samen met Microsoft en Intel aan prototype quantumcomputers en in Amsterdam zoekt QuSoft naar nieuwe toepassingen in de vorm van quantumalgoritmes.

Een quantumcomputer gebruikt quantumbits om mee te rekenen. In tegenstelling tot klassieke of gewone bits kunnen deze qubits niet alleen 0 of 1 zijn, maar ook tegelijkertijd 0 en 1. We spreken dan van superpositie. Qubits kunnen ook met elkaar verstrengeld zijn, een quantummechanische eigenschap die geen simpele analogie kent in de klassieke wereld,

**De QWG is een arbitrary waveform generator met 24 kanalen, verdeeld over zes modules van vier kanalen. Coaxkabels verbinden de uitgangen met de quantumprocessor in de mengkoeler.**

maar die erop neerkomt dat de waarde van de ene qubit gecorreleerd is aan die van de andere. Een operatie op de een heeft een instantaan effect op de ander, ongeacht hoe ver ze van elkaar verwijderd zijn. Door deze vreemde eigenschappen te benutten, verwachten we dat quantumcomputers problemen kunnen oplossen die buiten het bereik liggen van huidige en toekomstige klassieke computers. Vandaar de wereldwijd groeiende interesse.

De meest geavanceerde quantumcomputers rekenen op dit moment met enkele tientallen qubits. Dat is voldoende om de onderliggende principes te demonstreren, maar te weinig om een voordeel te bieden ten opzichte van onze huidige klassieke computers. Een van de uitdagingen is dan ook de opschaling van de hardware naar grotere aantallen qubits.

### Beperkingen

Qubits zijn vaak onderdeel van een chip, gemaakt met de bekende lithografische processen uit de halfgeleiderindustrie. In een mengkoeler wordt de chip afgekoeld tot een temperatuur van ongeveer 10 mK, enkele duizenden van een graad verwijderd van het absolute nulpunt. Dit is nodig om hem te isoleren van de omgeving en zo de quantummechanische effecten controleerbaar en meetbaar te maken.

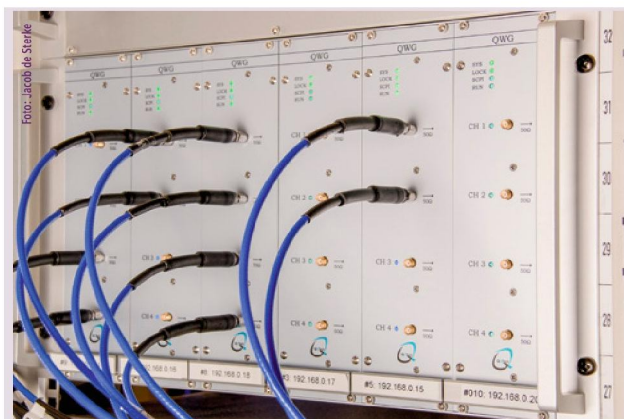
Via coaxiale kabels kunnen we analoge signalen vanaf kamertempera-

tuur naar de qubits sturen om deze te manipuleren en uit te lezen. Het signaal om een qubit vanuit zijn grondtoestand in superpositie te brengen, is typisch een Gaussische puls van enkele tientallen nanoseconden breed, gemoduleerd met een draaggolf tussen de 5 en 10 GHz. Bij de huidige quantumcomputers worden deze signalen meestal gegenereerd met algemene meet- en testapparatuur, van fabrikanten als Rohde & Schwarz, Keysight en Tektronix.

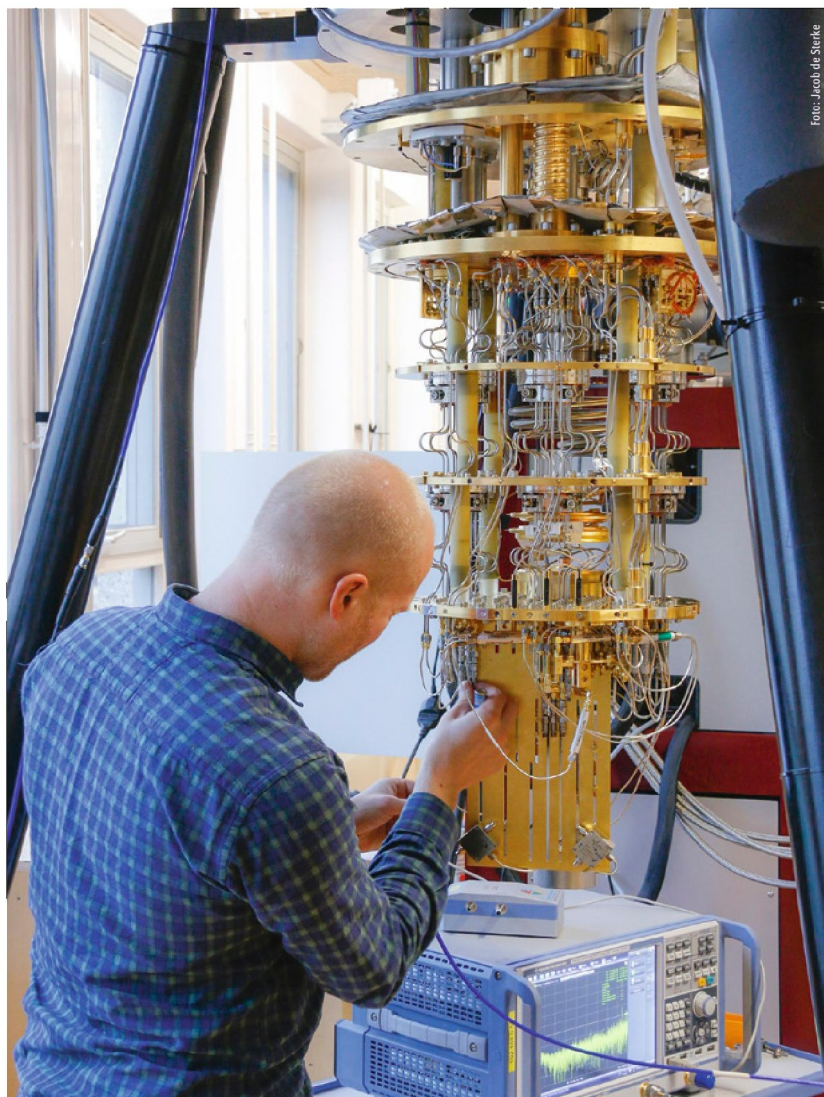
Voor chips met enkele qubits is dit een effectieve methode, maar naarmate het aantal qubits groeit en hun kwaliteit verbetert, komen er beperkingen aan het licht. Enerzijds zijn die technisch van aard. Zo verliest een qubit zijn informatie als hij te veel ruis binnenkrijgt. Ook blijken de bestaande instrumenten onderling niet op de nanoseconde synchroon en deterministisch te kunnen functioneren – een cruciale vereiste voor quantumberekeningen. Andere beperkingen zijn meer praktisch. Zo nemen de beschikbare apparaten te veel ruimte in beslag en door de vele ongebruikte functies zijn ze te duur om efficiënt te kunnen opschalen naar enkele tientallen qubits nu en enkele honderden in de nabije toekomst.

### Qutech Waveform Generator

Om deze tekortkomingen het hoofd te bieden, is binnen de Delftse on-







**Niels Bultink aan het werk aan de binnenkant van een mengkoeler. De quantum-processor wordt gemonteerd op de onderste plaat en vervolgens afgekoeld tot ongeveer 10 mK.**

uitkomst van een andere qubit. Hierbij is het cruciaal om de tijd tussen de binnenkomende meting en de uitgaande puls te minimaliseren. Bij de QWG is het gelukt om de vertraging onder de honderd nanoseconden te houden, wat bijzonder weinig is voor dit type apparaten.

Om de terugkoppeling te realiseren, is het zaak de aansturing te centraliseren, via een zogeheten centrale controller. Dit apparaat heeft controle over meerdere QWG's en uitleesapparaten en bepaalt door bitwoorden te verzenden welke qubit welke operatie heeft. Deze gecentraliseerde architectuur maakt het mogelijk verder op te schalen.

#### Naar de markt

Een van de volgende stappen in de ontwikkeling is verdere integratie van de verschillende apparaten. De planning is onder meer om de nu nog externe rf-draaggolfgeneratoren en iq-mixers toe te voegen aan de QWG en om de QWG en de centrale controller te combineren. De aanstuursignalen voor de qubits zijn dan direct vanuit één apparaat te genereren. Dit geeft een meer compacte en kostenefficiënte totaaloplossing. Daarnaast zijn er minder kabels en connectoren nodig, wat de betrouwbaarheid ten goede komt.

Komend jaar willen we met onze startup Qblox de binnen Qutech ontwikkelde technologie naar de markt brengen. Daarnaast zullen we de schaalbaarheid en signaaleigenschappen verbeteren. Doel: binnen drie jaar duizend qubits tegelijkertijd aansturen.

*Jules van Oven is elektrotechnisch ingenieur en Niels Bultink is promovendus, beiden bij Qutech, het Delftse onderzoeksinstituut voor quantumtechnologie. In april starten zij de spinoff Qblox om aanstuurelektronica voor quantumcomputers te commercialiseren.*

**Redactie Nieke Roos**

derzoeksgroep van professor Leonardo DiCarlo besloten om samen met TNO zelf een apparaat te ontwikkelen: de Qutech Waveform Generator (QWG). Dit is een *arbitrary waveform generator* (awg) met 24 kanalen, verdeeld over zes modules van vier kanalen. Elke module bevat een fpga die verbonden is met vier 12 bit dacs die lopen op 1 GS/s.

Klassieke awg's beschikken over een golfvormgeheugen van wel gigabytes groot. Voor de aansturing van qubits zijn weliswaar lange en complexe golfvormen nodig, maar deze zijn altijd opgebouwd uit combinaties van simpele pulsen. De QWG gebruikt zogeheten bitwoordsignalen van tien parallelle bits om heel snel willekeurige pulsen te activeren. Alleen die individuele pulsen hoeven we op te slaan in het golfvormgeheugen. Dit neemt veel minder plaats in, waardoor het in de fpga past en we

geen extern geheugen hoeven aan te roepen. De resulterende awg is niet alleen sneller, simpeler en goedkoper, maar ook makkelijker op te schalen.

Voor complexere quantumberekeningen is het nodig om terugkoppeling toe te voegen aan de architectuur. Welke puls er naar een qubit gaat, is dan afhankelijk van de meet-

**Elk van de zes QWG-modules bevat een fpga die verbonden is met vier 12 bit dacs die lopen op 1 GS/s.**

