

Quantum computing voor onderzoek: de stand van zaken

Er is de laatste jaren veel geschreven over quantumcomputers, maar waar staan we nu in de wereld van quantum computing voor wetenschappelijk onderzoek? We vragen 3 experts om hun mening.



SURF houdt de ontwikkelingen op het gebied van quantum computing nauwlettend in de gaten. Niet met de ambitie om zelf zo'n apparaat te ontwikkelen, wel om de impact van quantum computing op onze diensten en gebruikers te kunnen inschatten. Met andere woorden: hoe maken we complexe materie toegankelijk voor onze doelgroep? Hoe zorgen we ervoor dat wij en onze gebruikers klaar zijn om de voordelen van deze technologie te benutten? En hoe creëren we een omgeving waarin onderzoekers kunnen experimenteren en leren?

Alleen met de hulp van vele partners en de SURF-leden kunnen we ons optimaal voorbereiden op dit nieuwe en spannende tijdperk. We vroegen Vedran Dunjko (Leiden Institute of Advanced Computer Science) en Richard Versluis (QuTech) naar de huidige stand van zaken op het gebied van quantum computing en de samenwerking met SURF. Ook licht adviseur Ariana Torres Knoop SURF's interesse in quantumtechnologie toe.

Hoe leg je quantum computing uit aan iemand die er nog nooit van heeft gehoord?

Ariana: "Quantumcomputers werken niet zoals klassieke computers. Ze worden ook niet verondersteld dezelfde problemen op te lossen. We zullen daarom waarschijnlijk nooit met een quantumcomputer onze mails openen of documenten schrijven. Ik gebruik altijd het voorbeeld van een adresboek om aan te geven hoe dezelfde handeling met een quantumcomputer op een heel andere manier wordt aangepakt. Als we een klassieke computer vragen naar het adres dat bij een bepaalde naam hoort, zal die computer naar één naam tegelijk zoeken."

"Een quantumcomputer kan zijn quantumeigenschappen gebruiken om een situatie te creëren waarin hij alle namen en bijbehorende adressen tegelijk kent. In plaats van stap voor stap naar één naam tegelijk te zoeken, kun je het hele adresboek tegelijkertijd manipuleren, zodat het antwoord dat je zoekt bovenaan staat. Dit doe je bijvoorbeeld met een opdracht waarbij alle namen die beginnen met een bepaalde letter naar boven schuiven. Via een tweede opdracht breng je de namen met tweede letter van die naam nog dichter naar boven, enzovoort. Na een paar bewerkingen weet je dat de naam die je zoekt helemaal bovenaan in het adresboek staat. Het enige wat je hoeft te doen, is het adresboek openen."

Richard: “Stel je voor dat je een computer hebt waarmee je met elke toegevoegde bit de rekenkracht verdubbelt. Bij een gewone computer is dat niet voor te stellen. Met een quantumcomputer gebeurt dat via qubits wel. Een qubit kan worden gezien als een quantummechanische versie van een klassieke databit. Helaas staat quantumtechnologie nog in de kinderschoenen. Niemand weet precies hoe volwaardige quantumcomputers eruit zullen zien. Bij QuTech ontwikkelen we ze om de wereld te laten zien dat het mogelijk is. We definiëren de eisen en de manier waarop quantumcomputers worden gemaakt. Onze prototypes kunnen op termijn door bedrijven verder worden ontwikkeld.”

Vedran: “We weten dat op atomair niveau, fysieke systemen evolueren en zich heel anders gedragen dan onze dagelijkse observaties en verwachtingen. Het blijkt dat wij deze quantumeffecten kunnen gebruiken om bepaalde berekeningen anders, en in sommige gevallen veel, veel sneller, uit te voeren. Het idee achter quantum computing is om echt op het niveau van die quantumeffecten te denken. Om erachter te komen hoe deze effecten ons helpen bij het op nieuwe en interessante manieren verwerken van informatie. In mijn vakgebied bedenken we schema's, algoritmen en methoden om verschillende soorten problemen op te lossen, waarbij we de quantumeffecten op een aanzienlijk efficiëntere manier gebruiken dan op conventionele computers mogelijk is.”

"Stel je voor dat je een computer hebt waarmee je met elke toegevoegde bit de rekenkracht verdubbelt. Bij een gewone computer is dat niet voor te stellen."

Richard Versluis - QuTech

Waar staan we nu precies?

Vedran: “Als je online naar ‘quantum computing’ zoekt, kom je foto’s van echte apparaten tegen, gemaakt door grote bedrijven en instituten. Op sommige van deze machines kun je daadwerkelijk algoritmes uitvoeren. Ze zijn echter nog ver verwijderd van het soort quantumcomputers dat we in de toekomst willen hebben. Tot nu toe worden we beperkt in het aantal beschikbare qubits en dus in de hoeveelheid informatie die we kunnen verwerken en in de duur van de berekeningen. Ook zit er nog flink wat ‘ruis’ in de bewerkingen. De laatste jaren is een belangrijk deel van de gemeenschap bezig om interessante toepassingen te bedenken. Niet alleen voor de apparaten die we nu al hebben, maar ook voor de computers waarover we waarschijnlijk over 5 tot 10 jaar beschikken. Toch bevinden we ons nog in een overgangsfase van theorie naar experiment. Daarom vindt al ons werk plaats via simulaties op klassieke machines. In de tussentijd proberen we een sterk curriculum voor quantum computing op te bouwen. Op dit moment geven we een zestal cursussen in Leiden, waarvan ik er zelf twee leid.”

Richard: “We hebben inmiddels twee quantumcomputers online; één met twee qubits en één met vijf. Die zijn beschikbaar voor de buitenwereld. Er bestaan overigens verschillende technologieën om qubits te creëren. Bij QuTech richten we ons op vier verschillende soorten. De quantumcomputers die we online hebben, zijn gebaseerd op [elektronenspin](#) en [supergeleidende qubits](#). Supergeleidende qubits zijn veel groter en daardoor makkelijker te maken. Bedrijven als Google en IBM zitten al op 50 qubits of meer, maar ik verwacht dat we snel kunnen opschalen naar 20 of misschien 25. De printplaten met de qubit chips worden via een geavanceerde koelkast gekoeld tot enkele tientallen millikelvin, omdat ze zich bij die lage temperaturen pas gaan gedragen als qubits. We sluiten tientallen coaxkabels op de chips aan om (analoge) microgolfsignalen naar de qubits te sturen. De frequentie-, fase- en amplitudemodulatie van deze pulsen bepalen de uiteindelijke werking van de qubits. Op dit moment is onze grootste uitdaging om de qubits reproduceerbaar te maken, zodat de ze zich altijd op dezelfde manier gedragen en je altijd dezelfde kwaliteit boekt.”

Hoe en waarom is SURF betrokken?

Ariana: “In de toekomst willen wij bij SURF onze gebruikers ondersteunen in de transitie naar quantum computing. Van de onderzoekers die momenteel gebruikmaken van onze HPC-faciliteiten, vormen machine learning en chemie de grootste groepen. Als er een mogelijkheid komt om hen te laten migreren naar quantumcomputing, dan moeten wij er klaar voor zijn en zij natuurlijk ook. We willen dan over de tools beschikken om hen in de juiste richting te sturen en de nodige ervaring op te laten doen. Natuurlijk zijn we ook geïnteresseerd in het aantrekken van de quantum community als gebruikers van de volgende generatie computerfaciliteiten. Om dit voor elkaar te krijgen, zoeken we samen uit wat er nodig is, wat we kunnen bieden en waar we elkaar kunnen ontmoeten. Dit vereist uiteraard dat we bij verschillende projecten, initiatieven, vergaderingen en conferenties betrokken zijn. We luisteren goed naar de gemeenschap om te ontdekken wat onze rol nu en in de toekomst is, of zou kunnen zijn. In het algemeen kan je zeggen dat SURF de ontwikkeling van quantum computing ondersteunt en dat wij kijken waar dit toe leidt. We denken dat er spannende dingen staan te gebeuren waar de Nederlandse onderzoeksgemeenschap baat bij heeft.”

Richard: “SURF biedt een goed netwerk van onderzoekers die traditionele rekenkracht gebruiken. Zodra quantumcomputers verbeteren, zal er vraag vanuit deze groep ontstaan. Zo draait de aan de TU Delft ontwikkelde quantumsimulator op SURF's nationale supercomputer Cartesius. In combinatie met de eerste, beschikbare quantumhardware kunnen onderzoekers nu zonder quantumcomputers aan de nieuwe technologie wennen. Persoonlijk ben ik ervan overtuigd dat een goede Nederlandse quantumcomputer, dienend aan de Nederlandse of Europese economie, niet door één universiteit kan worden beheerd. We kunnen beter op zoek naar een onafhankelijke partij die de rekencapaciteit eerlijk verdeelt. Bovendien denk ik dat de eerste quantumcomputers een tandem moeten vormen met bestaande supercomputers. Door bijvoorbeeld bepaalde algoritmes op beide platforms te laten draaien. Het kan ook nuttig zijn als die systemen fysiek naast elkaar worden geplaatst om vertraging tussen de berekeningen te minimaliseren. Hoe dan ook, dit is allemaal nog toekomstmuziek.”

Vedran: "In Leiden kennen wij meerdere doelstellingen. Sommige daarvan zijn gerelateerd aan de wetenschap, maar we willen ook dat Nederland 'quantum ready' wordt. Het gaat om valorisatie en om het leveren van een bijdrage aan de maatschappij. Bijvoorbeeld door ons smalle vakgebied toegankelijker te maken, zodat ook mensen uit andere domeinen kunnen profiteren. SURF speelt hierin een belangrijke rol. Door samen te werken, willen we ervoor zorgen dat de academische wereld soepel toegang krijgt tot alle benodigde infrastructuur en informatie. Onderzoekers met een specifieke theoretische achtergrond zoals ikzelf, missen vaak het inzicht hoe bepaalde problemen voor de hele gemeenschap interessant kunnen zijn. SURF herkent de voordelen voor die bredere groep gebruikers juist heel goed. Zij weten welke hardware, tools en ondersteuning nodig zijn."

"Verder denk ik niet dat quantumcomputers ooit de klassieke computers zullen vervangen. We hebben traditionele rekenkracht en middelen nodig om de berekeningen in die vreemde en mysterieuze zwarte doos te stabiliseren. Daarom moeten wij ons richten op hybride architecturen. Ook dit is iets waar SURF sterk in is. Voor de Universiteit Leiden, het Leids Instituut voor Geavanceerde Computerwetenschappen, aQa (het initiatief voor toegepaste quantumalgoritmen in Leiden) en andere teams is samenwerking van groot belang. We doen dit onder andere met SURF, TNO, QuSoft en QuTech, de universiteiten van Nijmegen en Amsterdam. We zijn in gesprek met iedereen. Ook buiten de landsgrenzen."

"In de toekomst willen wij onze gebruikers ondersteunen in de transitie naar quantum computing."

Ariana Torres Knoop - SURF

Chemie en machine learning zijn de killer-applicaties voor quantum computing. Waarom is dat?

Ariana: “Bij machine learning kom je problemen met veel parameters en talloze oplossingen tegen; de uitdagingen zijn groot, complex en het navigeren richting een goede oplossing kan (rekenkundig) zeer tijdrovend zijn. De eigenschappen van quantumcomputers zorgen voor betere en snellere methoden en oplossingen. Denk aan het voorbeeld van het adresboek; hetzelfde ‘probleem’ kun je op verschillende manieren oplossen. Voor de chemie ligt dat iets anders. Het oplossen van quantumchemische problemen is erg tijdrovend omdat we de quantumeigenschappen van de atomen en elektronen via een klassieke computer reproduceren. Nu we een computer ontwikkelen die dezelfde werking als moleculen heeft, is ons quantumchemieprobleem gewoon met die quantumcomputer in kaart te brengen. Met alle voordelen van dien.”

Vedran: “Met voldoende rekenkracht kan een supercomputer elk fysiek systeem simuleren. Wanneer je echter berekent hoeveel bits of tijd we hiervoor nodig hebben, dan lopen we - zelfs voor kleine quantumberekeningen - tegen de grenzen van het mogelijke aan. Een simulatie van 50 tot 60 qubit-berekeningen kan dan in een jaar of tienduizend jaar worden afgerond. Een quantumrekenaar maakt zich daar geen zorgen over, want op een quantumcomputer duurt dit minder dan een seconde. Bij 100 qubits zijn er weinig mensen die geloven dat dit ooit betrouwbaar op een supercomputer te simuleren is. Toch zou het heel nuttig kunnen zijn bij onderzoek in de chemie. Ook bij machine learning zijn de verwachtingen groot, al zoeken we nog steeds naar de ultieme toepassingen. Dit vergt veel experimenteren met grotere datasets. Helaas zijn de apparaten voor dit soort verkenningen nog niet krachtig genoeg, maar we zijn druk bezig met alternatieven die dit ondervangen.”

Wanneer wordt quantumcomputing breed toegankelijk voor de onderzoeksgemeenschap in Nederland?

Ariana: “Er bestaan al enkele quantumcomputers bij Google, IBM en bijvoorbeeld ook QuTech, maar ze zijn niet zo krachtig als we zouden willen. Binnenkort zijn we in staat om de eerste nuttige berekeningen op die systemen uit te voeren. Dit gebeurt met quantumalgoritmen die iets sneller werken dan op gewone, klassieke supercomputers. De laatste jaren is de quantumkennis en -technologie exponentieel gegroeid. Veel sneller dan in de beginjaren bij de huidige generatie computers. Dit is zeer bemoedigend. Er moet echter nog veel gebeuren voordat we applicaties kunnen draaien die op klassieke supercomputers niet mogelijk zijn. Dit vraagt om technologische ambitie voor de komende 5 tot 10 jaar. We moeten hard aan de slag met de productie van duizenden, misschien zelfs honderdduizenden nuttige qubits, en met het ontwikkelen van quantumalgoritmen en -toepassingen.”

Richard: “QuTech is een onafhankelijke partij en we willen dat onze kennis voor onderzoek en bedrijfsleven beschikbaar komt. Bij Google en IBM ligt dit anders. Zij zijn vooral geïnteresseerd in het verkopen van nieuwe producten. Daar willen we niet mee concurreren. Als we ons in Nederland beperken tot de wetenschappelijke wereld, dan denk ik dat we over 2 of 3 jaar voor een brede doelgroep goede quantumcomputers beschikbaar hebben, maar puur als onderzoeksobjecten: hoe gedragen deze computers zich en hoe kunnen we ze verbeteren? De vraag wanneer quantumcomputers beschikbaar zijn voor zinvolle doeleinden, is veel moeilijker te beantwoorden. Dan hebben we het over de economische waarde van quantumtechnologie. Ik denk, en dat is een goed onderbouwde gok, dat onderzoekers over 3 tot 7 jaar de toegevoegde waarde van een quantumcomputer gebruiken. Commerciële, levensvatbare systemen met toegevoegde waarde voor bedrijven, hebben waarschijnlijk minstens 10 jaar nodig om tot volle wasdom te komen.”

Vedran: “We bevinden ons in een spannende fase. Wij gebruiken quantumcomputers voor zeer specifieke toepassingen via quantumsimulaties. Als je het hebt over goed werkende quantumcomputers en over het uitvoeren van algoritmes, dan is het verhaal helaas nog anders. Google heeft weliswaar vorig jaar een experiment gedaan, met opmerkelijke resultaten, maar de volgende stap laat nog even op zich wachten. Er bestaat namelijk een groot gat in onze kennis tussen hoe we deze apparaten moeten gebruiken en hoe de werkelijke fysieke processen er uitzien. Dit alles werkt vertragend in het bedenken van toepassingen. Het is te optimistisch om te denken dat over 5 jaar al onze doelen op het gebied van quantumcomputing zijn bereikt. Ik hoop dat er tegen die tijd een of twee voorbeelden van echt nuttige quantumberekeningen

bestaan. We bewandelen systematisch de wetenschappelijke weg. We streven niet alleen naar het eindresultaat, we proberen onderweg te leren over apparaten, fysica en computerwetenschap. Leren over de wereld kost tijd. En geduld.”

"Een simulatie van 50 tot 60 qubit-berekeningen kan in een jaar of tienduizend jaar worden afgerond. Een quantumrekenaar maakt zich daar geen zorgen over, want op een quantumcomputer duurt dit minder dan een seconde."

Vedran Dunjko - LIACS

Het quantumtijdperk lonkt aan de horizon, met een groot toekomstig potentieel aan toepassingen voor de wetenschap en het bedrijfsleven. Op dit moment wordt er wereldwijd en in Nederland flink geïnvesteerd in de ontwikkeling van technologie en toepassingen. Nederland is hierbij goed gepositioneerd, met investeringen en landelijke samenwerking via de Nationale Agenda Quantumtechnologie (NAQT) en een sterk nationaal ecosysteem (Quantum Delta). Alleen door sterke samenwerking tussen onderzoek en technologieontwikkeling, algoritmeontwikkeling, applicatiedomeinen, dienstverleners, het bedrijfsleven en het onderwijs kunnen we optimaal profiteren van quantumtechnologie.