

Quantum-technologieën

Auteurs

Ariana Torres-Knoop (SURF), Menica Dibenedetto (Universiteit Maastricht), Dmytro Polishchuk (Saxion Hogeschool), Marten Teitsma (Hogeschool van Amsterdam), Wojciech Kozlowski (SURF), Harold Teunissen (SURF)

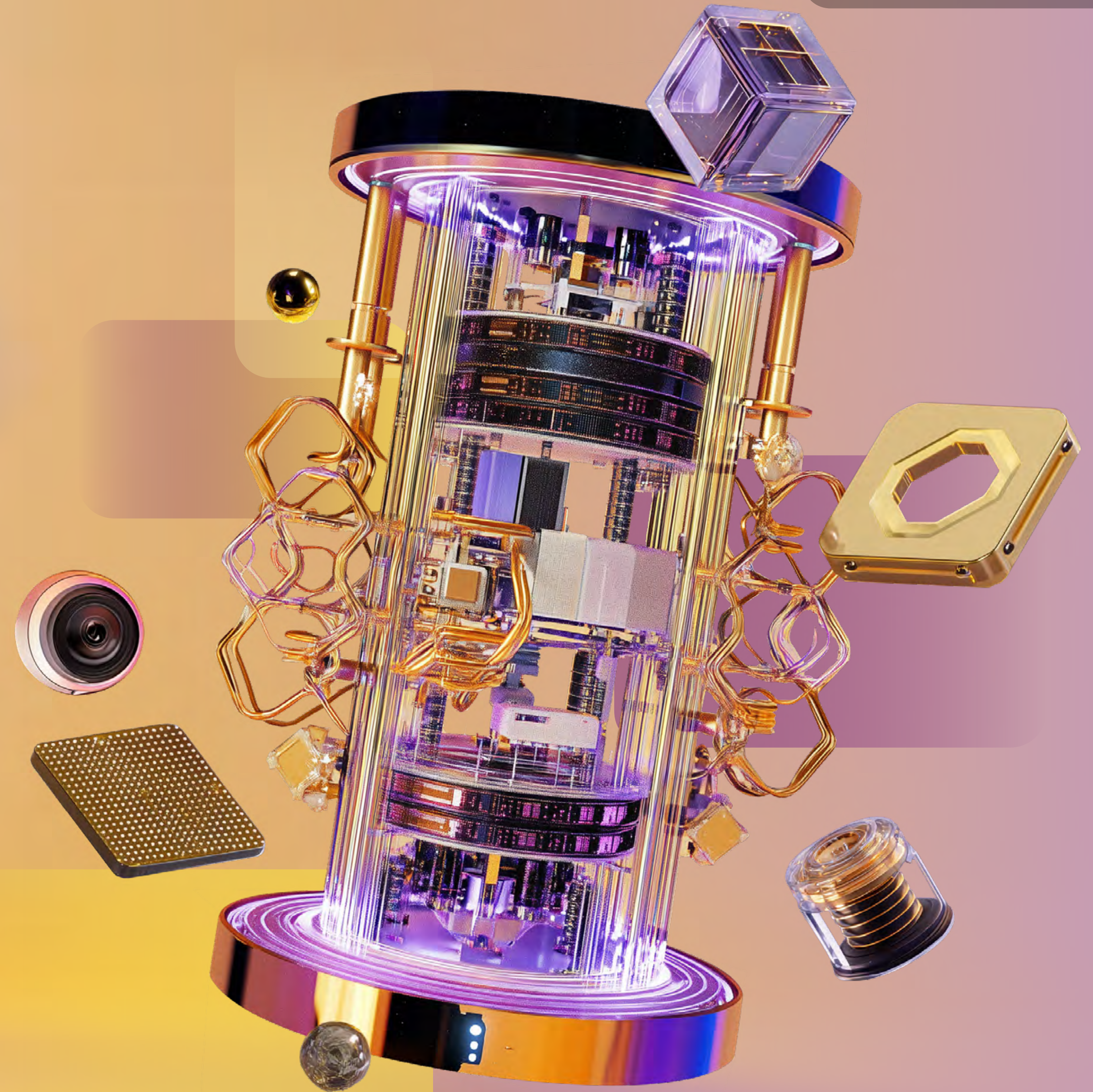
1. Van ad-hoc-experimenten naar toepassingen

2. Op weg naar fouttolerante quantumcomputers (FTQC)

3. Versnelling van hardware-ontwikkeling

4. Het versterken van de robuustheid en het potentieel van quantumcomputing

5. Integratie van quantumsensing in andere domeinen



Inleiding

Quantumtechnologie maakt gebruik van de principes van de quantummechanica. Quantumtechnologie belooft doorbraken te realiseren in vakgebieden zoals materiaalkunde, geneeskunde en AI, door het mogelijk maken van nieuwe simulaties, dataverwerking die vele malen sneller verloopt en verbeterde beveiliging via quantumnetwerken en quantumsensing.

In tegenstelling tot de eerste quantumrevolutie, die leidde tot technologieën gebaseerd op fundamentele inzichten in de quantummechanica, zoals de laser, markeert de huidige tweede quantumrevolutie een transitie naar geavanceerde toepassingen. Deze nieuwe fase richt zich op het benutten van onze groeiende capaciteit om deeltjes op quantumniveau te manipuleren, waardoor computationele, communicatie- en sensorische mogelijkheden ontstaan die onmogelijk zijn met uitsluitend klassieke

(niet-quantum) methoden. In de afgelopen jaren heeft het vakgebied een snelle groei door gemaakt, met belangstelling die zich ver buiten de laboratoria uitstrekt en brede pogingen stimuleert om het potentieel te benutten. Dit momentum, samen met de dringende vraag naar gekwalificeerde professionals, heeft de oprichting van nieuwe onderwijsprogramma's, trainingsinitiatieven en ontwikkeltools in verschillende sectoren bevorderd.

Ondanks deze vooruitgang bevinden de meeste quantumtechnologieën zich nog in een vroeg stadium. Ze vereisen gespecialiseerde componenten, complexe infrastructuren en deskundige experts. Voortdurende ondersteuning van onderzoek, onderwijs en toepassingsontwikkeling is essentieel om het volledige potentieel te ontsluiten.



Quantumtechnologieën kunnen worden onderverdeeld in drie hoofdgebieden: quantumcomputing, quantumcommunicatie en quantumdetectie.

Quantumcomputing omvat zowel de ontwikkeling van hardware als software. Huidige systemen, bekend als noisy intermediate-scale quantum (NISQ)-systemen, worden beperkt door fouten en ruis. Om het volledige potentieel van quantumcomputing te benutten, moeten deze systemen zich ontwikkelen tot fault-tolerant quantum computing (FTQC). Dit zal toepassingen mogelijk maken op het gebied van quantumsimulatie, -optimalisatie en -machine learning.

Quantumcommunicatie verwijst naar de mogelijkheid om quantuminformatie te verzenden, wat ongekeerde veiligheid en effici-

entie biedt voor onze internetinfrastructuur. Het zal het klassieke internet verbeteren met mogelijkheden die aantoonbaar niet haalbaar of aanzienlijk minder efficiënt zijn wanneer uitsluitend gebruik wordt gemaakt van klassieke (communicatie)technologie. Bovendien zal de ontwikkeling van een quantuminternet essentieel zijn voor het verbinden van quantumcomputers tot krachtige, gedistribueerde systemen.

Quantumdetectie maakt gebruik van quantummechanische effecten voor uitzonderlijk nauwkeurige metingen, met toepassingen bijvoorbeeld in navigatie, gezondheidszorg en milieubewaking.

Een cruciaal aandachtspunt bij de ontwikkeling van quantumtechnologieën is hun dual-use karakter: ze kunnen zowel voor civiele als

militaire toepassingen worden gebruikt. Hierdoor wordt de ontwikkeling beïnvloed door exportcontroles en geopolitieke dynamiek, die de afgelopen jaren een belangrijke rol hebben gespeeld in het tempo van innovatie.

Bijdragers

Dr. Clara Osorio Tamayo (QDNL CAT3-programmaleider, TNO-wetenschapper), **Cecile M. Perrault** (hoofd Innovation & Partnerships bij Alice & Bob), **Dr. Kees Eijkel** (algemeen directeur QuTech), **Jesse Robbers** (algemeen directeur imec NL, medeoprichter en voormalig bestuurslid Quantum Delta NL), **Prof. Dr. Harry Buhrman** (Chief Scientist for Algorithms and Innovation bij Quantinuum)

Studenten

Irene Colombo, Leo Paggen, Akshay Bande, Francesco Agnesi, Laurent Bijman, Alexandru Balan Temocico

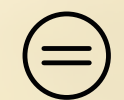
TREND #1

Van ad-hoc experimenten naar toepassingen

Publieke waarden



Autonomie



Rechtvaardigheid

Duurzaamheid | Integriteit | Inclusie



Menselijkheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Digitale transformatie; Concentratie van rijkdom en economische ongelijkheid; Technologische vooruitgang en informatica; Automatisering en AI; Kritieke infrastructuur

Quantumtechnologieën zijn inmiddels zo ver ontwikkeld dat onderzoekers kunnen beginnen met het testen van proof-of-concepts en realistische toepassingen. In de afgelopen jaren hebben softwaretools, programmeertalen en ontwikkelomgevingen voor quantumcomputing zich snel ontwikkeld. Een vergelijkbare ontwikkeling is in opkomst voor quantumnetwerken en quantumsensing, met nieuwe platforms voor het modelleren van communicatielinks, het ontwerpen van quantuminternetprotocollen en het verwerken van de enorme datasets die door gevoelige sensoren worden geproduceerd. Naarmate deze tools volwassen worden, wordt verwacht dat ze innovatie zullen stimuleren, vergelijkbaar met de groei die al in quantumcomputing is waargenomen.

Gebruiksvriendelijke software en ‘abstractielagen’ op hoger niveau verlagen de drempel voor wetenschappers, ingenieurs en bedrijven: in plaats van diepgaande expertise in quantumfysica te moeten hebben, kunnen ontwikkelaars zich richten op het oplossen van problemen in bijvoorbeeld cyberbe-



veiliging, gezondheidszorg, klimaatwetenschap, logistiek, financiën en geavanceerde productie.

Voortdurende investeringen in compilers, cloudplatforms, open-sourcebibliotheken en domeinspecifieke toolkits zullen van cruciaal belang zijn om het volledige potentieel van quantumtechnologie te ontsluiten, nieuw talent aan te trekken, samenwerking te bevorderen en oplossingen mogelijk te maken voor uitdagingen die voorheen onoplosbaar leken.

SIGNALEN

Toegenomen belangstelling van verschillende sectoren, industrieën en domeinen om de toepassingen van quantumtechnologie te verkennen

De eerste succesvolle demonstratie van een nieuw quantumcomputingprotocol voor het genereren van ‘certified randomness’ (jpmorgan.com) [↗](#)

70% van de bedrijfsleiders gebruikt en ontwikkelt use cases voor quantumcomputing en 91% investeert of is van plan te investeren in quantumcomputing (digitalisationworld.com) [↗](#)

Toyota en QuSoft (amsterdamsciencepark.nl) [↗](#)

Subsidies voor use cases (subsidiezoeker.nl) [↗](#)

Toepassingen van quantuminternet (quantuminternetalliance.org) [↗](#)

Softwareontwikkelingen

Eerste besturingssysteem voor quantumnetwerken (qutech.nl) [↗](#)

“Quantumvoordeel zal waarschijnlijk niet voortkomen uit algoritmen die in ‘worst case’-scenario’s worden geëvalueerd, maar eerder uit quantumheuristieken en specifieke uitdagingen: individuele gevallen van praktisch relevante problemen die ‘quantum-easy’ zijn - efficiënt oplosbaar met quantumalgoritmen - terwijl ze tegelijkertijd vanuit klassiek perspectief uitdagend blijven en zich slecht laten oplossen met klassieke methoden.” - Prof. dr. Harry Buhrman, hoofdwetenschapper voor algoritmen en innovatie bij Quantinuum

IMPACT



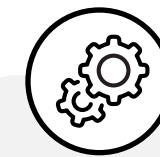
Onderwijs

Quantumtechnologieën maken - op termijn - leren en betrokkenheid toegankelijker.



Onderzoek

- Binnen afzienbare tijd zullen er meer potentiële toepassingen zijn, met toenemende betrokkenheid van en gezamenlijke ontwikkeling met andere disciplines.
- De mogelijkheden voor samenwerking met het bedrijfsleven zullen toenemen.



Operations

Het is mogelijk dat het aanbod aan software zo groot wordt dat het moeilijk bij te houden is.



TREND #2

Op weg naar fouttolerante quantumcomputing (FTQC)

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Integriteit
	Menselijkheid	

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Technische vooruitgang en berekeningen; Kritieke infrastructuur

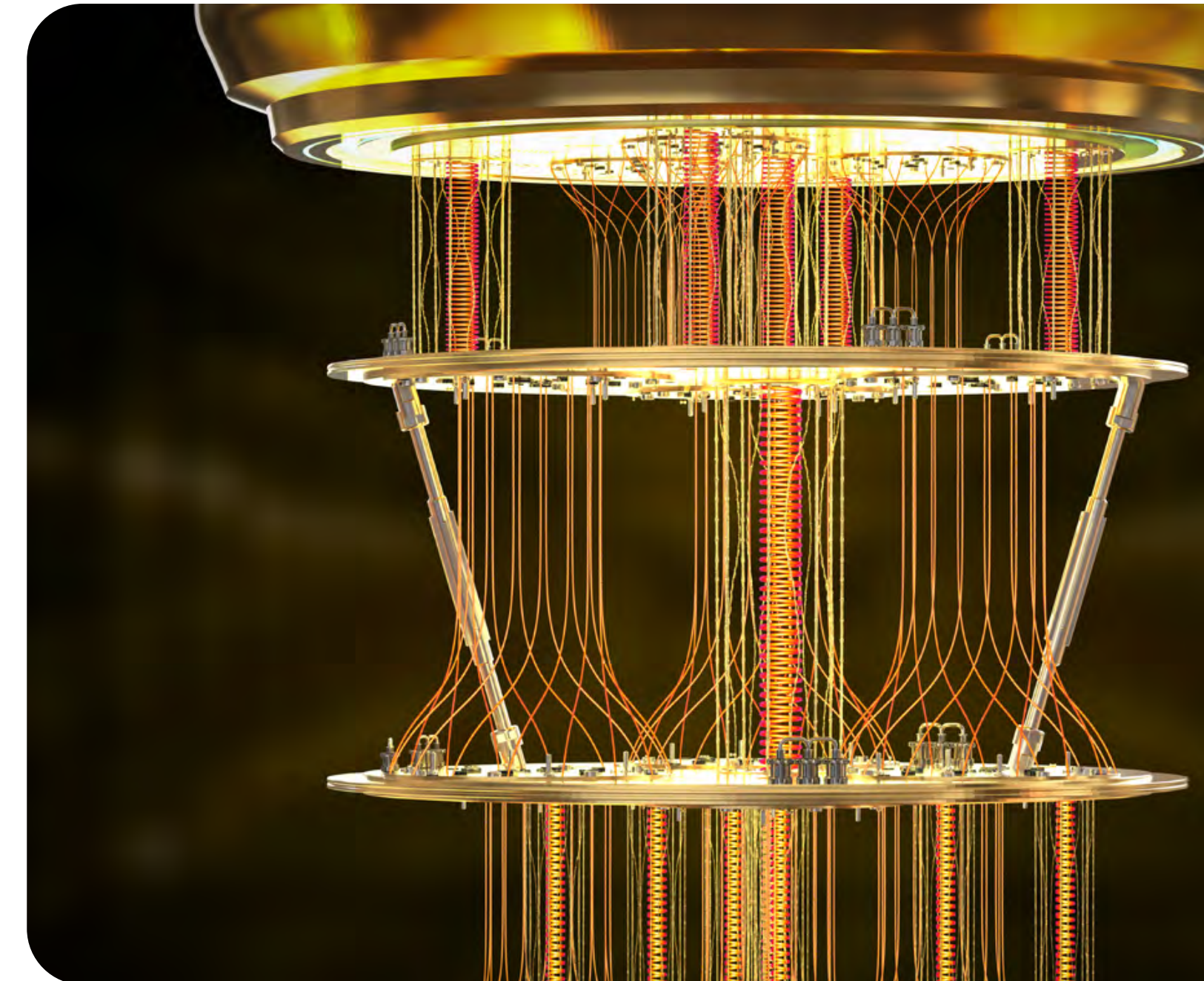
Een van de belangrijkste uitdagingen in quantumcomputing is de kwetsbaarheid van quantumsystemen voor fouten, wat leidt tot onbetrouwbare of ‘noisy’ berekeningen. Deze fouten ontstaan door decoherentie, omgevingsruis en imperfecte quantumgates, en kunnen berekeningen snel onbetrouwbaar maken.

Fault-tolerant quantumcomputing (FTQC) lost deze foutgevoeligheid op door middel van quantumfoutcorrectie (quantum error correction; QEC). Door fouten te corrigeren zonder de gecodeerde quantuminformatie te verstoren, kunnen ‘noisy’ systemen betrouwbare computers worden die complexe algoritmen kunnen uitvoeren.

Het bereiken van FTQC vraagt zowel om verbeteringen in de hardware, zoals een groter aantal en hogere kwaliteit van fysieke qubits en het handhaven van foutpercentages onder de vereiste drempels, als om de ontwikkeling van efficiëntere foutcorrigerende codes en fouttolerante algoritmen.”

In de komende jaren wordt verwacht dat de inspanningen om de huidige NISQ-systemen

(noisy intermediate-scale quantum) door te ontwikkelen tot volledig fouttolerante systemen zullen toenemen, met meer investeringen in onderzoek en ontwikkeling op het gebied van foutreductie, technieken voor quantumfoutcorrecties en algoritmen die geschikt zijn voor fouttolerante berekeningen.



SIGNALEN

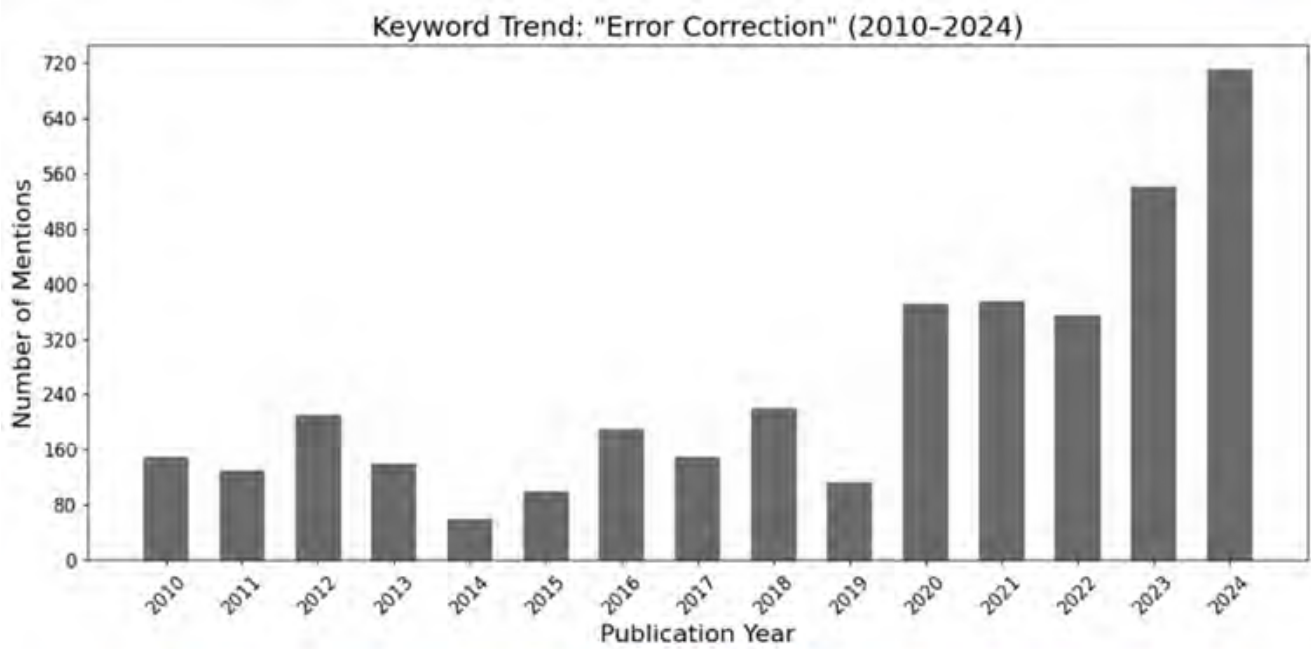
Stappenplan om FTQC te bereiken

- IBM-roadmap ([ibm.com](#))
- Google-roadmap ([quantumai.google](#))
- Alice & Bob-routekaart ([quantumcomputingreport.com](#))
- Quera-roadmap ([quera.com](#))
- Quantinuum-roadmap ([quantinuum.com](#))

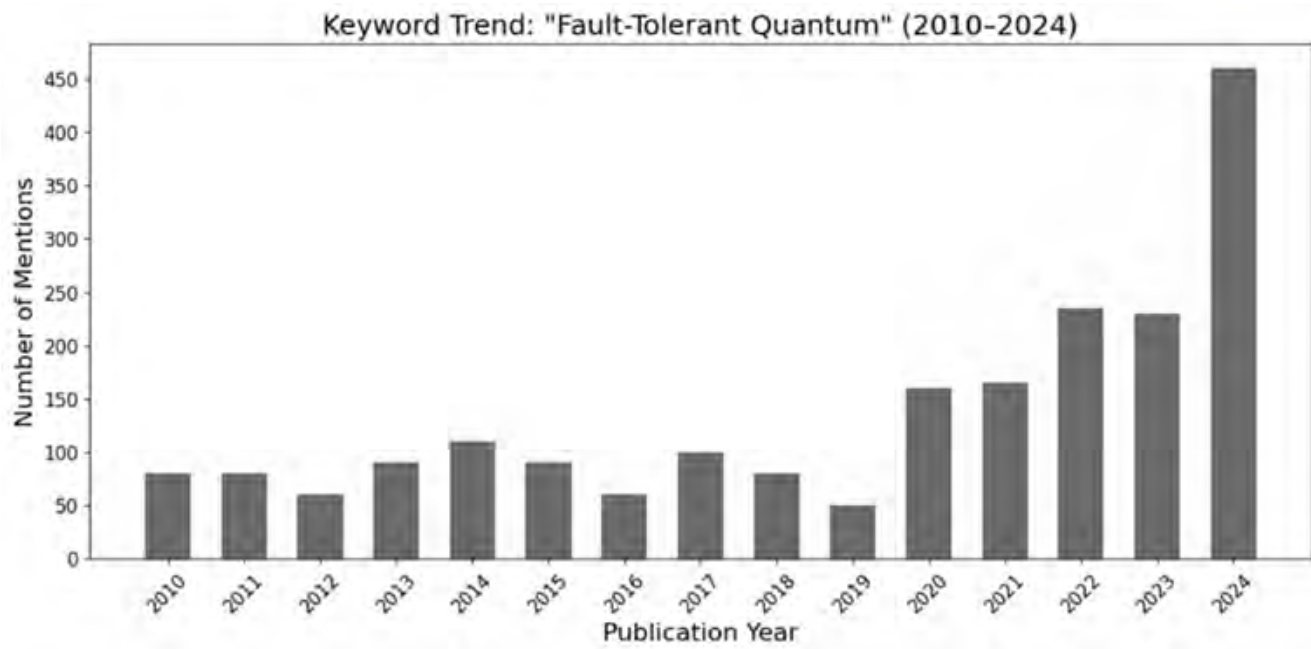
“FTQC is niet langer een verre ambitie; het volgt inmiddels een duidelijk traject. Om het volledige potentieel te benutten, moeten we dit momentum koppelen aan geoptimaliseerde algoritmen, relevante toepassingen en realistische inschattingen van de benodigde middelen.”

– Cecile M. Perrault, hoofd Innovatie & Partnerschappen, Alice & Bob

Toename van onderzoek naar foutcorrectie



Verhoogde aandacht voor FTQC



Enkele invloedrijke artikelen

- Demonstratie van dynamic surface codes, door Google AI en medewerkers ([arxiv.org](#))
- Het verminderen van quantumfouten via opschaling van een surface code-logische qubit, door Google Quantum AI ([nature.com](#))
- Prestaties van ‘quantum approximate optimization’ met ‘quantum error detection’ ([nature.com](#))
- Quantum error-corrected berekening van moleculaire energieën ([arxiv.org](#))
- Over het belang van foutbeperking voor quantumcomputers ([arxiv.org](#))

IMPACT



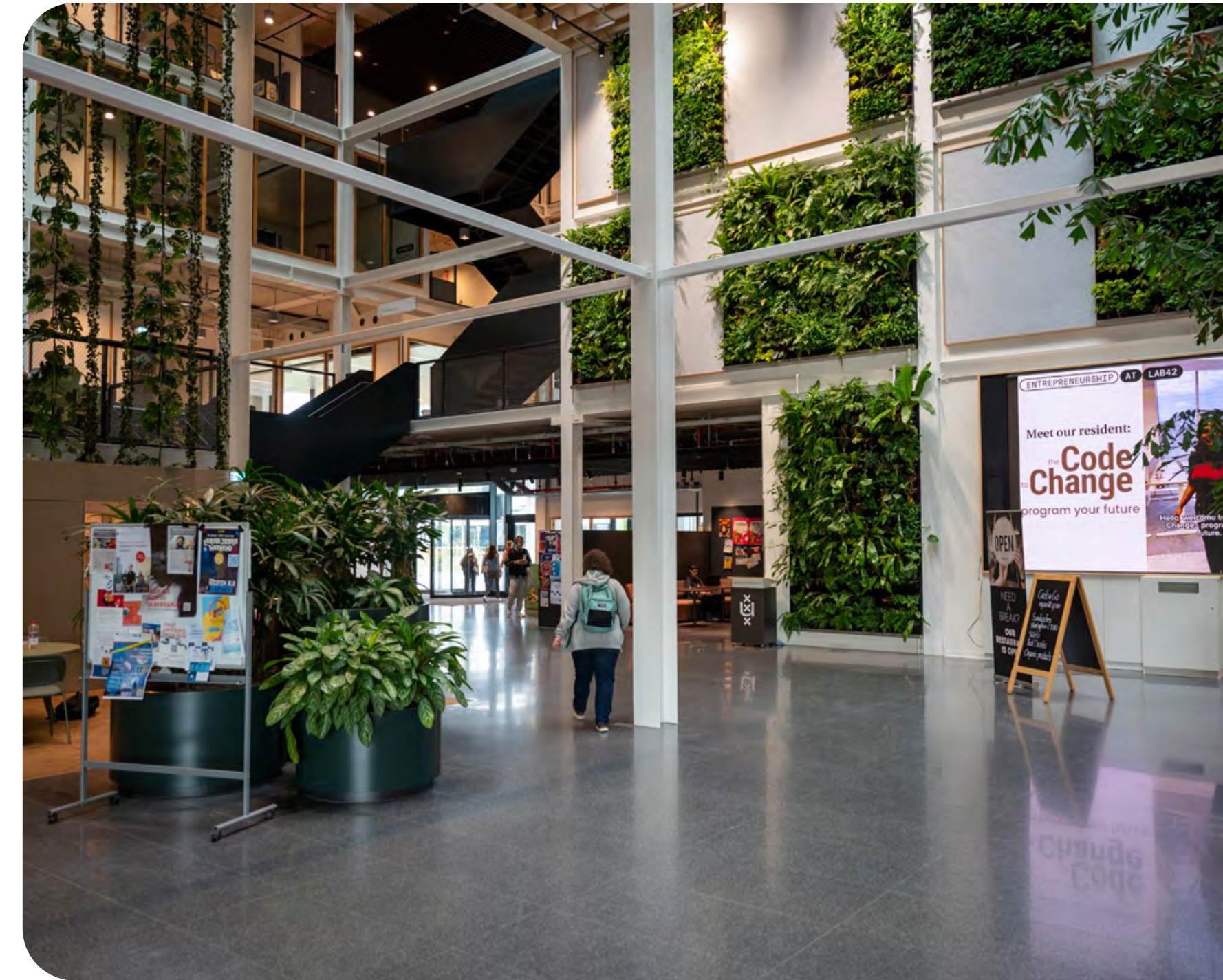
Onderwijs

Voor de verdere ontwikkeling van quantumtechnologieën zijn specifieke expertise en interdisciplinaire vaardigheden essentieel. Daarbij is een achtergrond in toegepaste wiskunde of theoretische fysica van groot belang om nieuwe methoden, algoritmen en toepassingen te kunnen ontwikkelen.



Onderzoek

- Er zal meer financiering beschikbaar zijn voor onderzoek rond FTQC.
- De eerste voorbeelden van FTQC worden verwacht.
- Er worden nieuwe technieken voor foutcorrectie en -beperking ontwikkeld.



TREND #3

Versnelling van hardware-ontwikkeling

Publieke waarden

	Autonomie	Pluriformiteit
	Rechtvaardigheid	Eerlijkheid Integriteit Toegankelijkheid
	Menselijkheid	

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

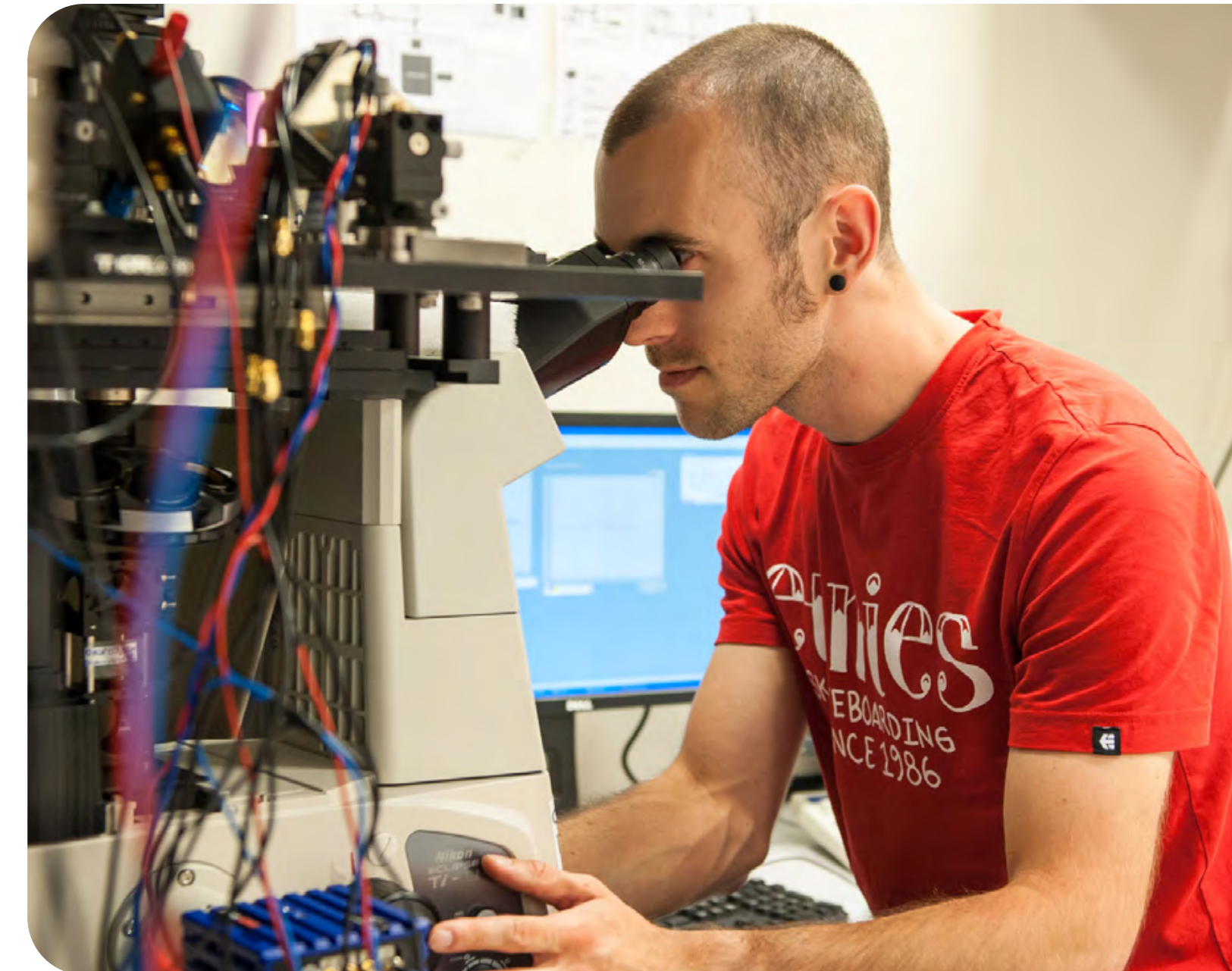
Technologische vooruitgang en computation; Schaarste aan grondstoffen; Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit

De technologieën die momenteel voor quantumprocessors (chips) worden ontwikkeld, van supergeleidende circuits, gevangen ionen en fotonische qubits tot nieuwere kandidaten zoals neutrale atomen en semiconductor-spinqubits, kennen elk specifieke voordelen en uitdagingen. Zelfs kleine verbeteringen in coherentie, connectiviteit of nauwkeurigheid van qubits kunnen grote impact hebben. Doorbraken op het gebied van foutcorrectie, productieprocessen of hybride ontwerpen kunnen het landschap snel veranderen. Naarmate onderzoek en investeringen toenemen, neemt de competitie om de meest geavanceerde quantumhardware te realiseren aanzienlijk toe.

Het huidige onderzoek en de ontwikkeling van quantumchips concentreert zich op vier kerngebieden: het vergroten van aantal en kwaliteit van qubits; het ontwerpen van processorarchitecturen met geïntegreerde foutcorrectie; het benutten van bestaande infrastructuur voor halfgeleiderfabricage; en het verbeteren van de schaalbaarheid door

middel van modulaire ontwerpen die meerdere chips kunnen omvatten.

De snelle vooruitgang in de ontwikkeling van chips leidt ook tot verbeteringen in ondersteunende tools zoals cryogene technologie, besturingselektronica, bekabeling, lasers en fotonische componenten.



SIGNALEN

Nieuws en aankondigingen over verbeteringen op het gebied van hardware

Fujitsu en RIKEN ontwikkelen 's werelds meest geavanceerde supergeleidende quantumcomputer met 256 qubits
([fujitsu.com](#))

Quantinuum bewijst dat hun quantumcomputers schaalbaar zijn dankzij belangrijke hardware-innovaties
([quantinuum.com](#))

Schaalbaar ionentransport van meerdere soorten in een op een raster gebaseerde oppervlakte-elektrodeval ([arxiv.org](#))

De H-serie van Quantinuum bereikt 56 fysieke qubits die allemaal met elkaar verbonden zijn en neemt afscheid van het tijdperk van klassieke simulatie ([quantinuum.com](#))

IBM lanceert zijn meest geavanceerde quantumcomputers, die nieuwe wetenschappelijke waarde en vooruitgang op het gebied van quantumvoordelen stimuleren
([newsroom.ibm.com](#))

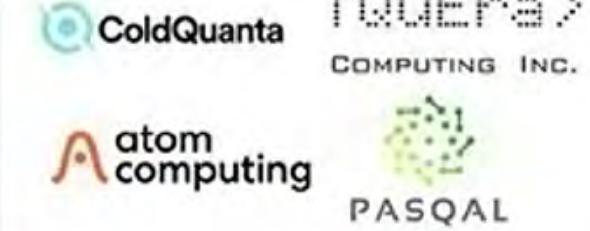
Verhoging van investeringen in bedrijven en start-ups die quantumplatforms en ondersteunende technologieën ontwikkelen

De financiering voor start-ups op het gebied van quantumcomputing bereikte in 2024 een recordhoogte van 2 miljard dollar, een verviervoudiging in de afgelopen vijf jaar
([app.dealroom.co](#))

Dit miljardenbedrijf is van plan om gigantische quantumcomputers te bouwen op basis van licht
([nature-com.saxion.idm.oclc.org](#))

10 startups die in 2025 in het Verenigd Koninkrijk en Europa inzetten op quantumtechnologie
([techfundingnews.com](#))

Het rapport 'Quantumtechnologieën 2024' van Yole Group
([yolegroup.com](#))

Qubit Type	Pros/Cons	Select Players
Superconducting	Pros: High gate speeds and fidelities. Can leverage standard lithographic processes. Among first qubit modalities so has a head start.	
	Cons: Requires cryogenic cooling; short coherence times; microwave interconnect frequencies still not well understood.	
Trapped Ions	Pros: Extremely high gate fidelities and long coherence times. Extreme cryogenic cooling not required. Ions are perfect and consistent.	
	Cons: Slow gate times/operations and low connectivity between qubits. Lasers hard to align and scale. Ultra-high vacuum required. Ion charges may restrict scalability.	
Photonics	Pros: Extremely fast gate speeds and promising fidelities. No cryogenics or vacuums required. Small overall footprint. Can leverage existing CMOS fabs.	
	Cons: Noise from photon loss; each program requires its own chip. Photons don't naturally interact so 2Q gate challenges.	
Neutral Atoms	Pros: Long coherence times. Atoms are perfect and consistent. Strong connectivity, including more than 2Q. External cryogenics not required.	
	Cons: Requires ultra-high vacuums. Laser scaling challenging.	
Silicon Spin/Quantum Dots	Pros: Leverages existing semiconductor technology. Strong gate fidelities and speeds.	
	Cons: Requires cryogenics. Only a few entangled gates to-date with low coherence times. Interference/cross-talk challenges.	

SIGNALEN

Toegenomen belangstelling voor meer schaalbare en modulaire systemen

IBM introduceert de volgende generatie quantumprocessoreren en IBM Quantum System Two (newsroom.ibm.com) [↗](#)

Xanadu kondigt Aurora aan, een universele fotonische quantumcomputer (thequantuminsider.com) [↗](#)

Quantumtransductie en netwerken voor schaalbare computertoepassingen (research.google) [↗](#)

Modulaire supergeleidende qubit-architectuur met een afstembare koppeling met meerdere chips (rigetti.com) [↗](#)

Onderzoekers van Quantinuum zetten een enorme stap voorwaarts door de schaalbaarheid van de QCCD-architectuur aan te tonen (quantinuum.com) [↗](#)

Fouttolerante platforms door ontwerp

Cat-qubits maken een snellere weg vrij naar fouttolerante quantumcomputers (physicsworld.com) [↗](#)

Maak kennis met Willow, onze ultramoderne quantumchip (blog.google) [↗](#)

Amazon doet mee aan quantumrace met chip op basis van 'cat qubit' (bbc.com) [↗](#)

Microsoft onthult Majorana 1, 's werelds eerste quantumprocessor aangedreven door topologische qubits (azure.microsoft.com) [↗](#)

Microsofts Majorana 1-chip baant nieuwe weg voor quantumcomputing (news.microsoft.com) [↗](#)

“De kwaliteit van qubits en betere integratie zijn twee kanten van dezelfde uitdaging: opschalen.”

– Dr. Kees Eijkel, algemeen directeur van QuTech

IMPACT



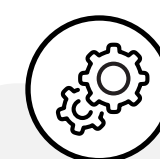
Onderwijs

- Er is een groep professionals met specifieke expertise en interdisciplinaire kennis en vaardigheden nodig, bijvoorbeeld door het opleiden van meer specialisten in engineering of toegepaste fysica.
- Er zal mogelijk meer hardware voor het onderwijs beschikbaar worden gesteld.



Onderzoek

- Innovaties in hardware voortkomend uit quantumcomputing dragen bij aan de versterking van onderzoek en technologische ontwikkeling in andere domeinen.
- Er zal mogelijk meer hardware beschikbaar worden gesteld voor testen en experimenteren.



Operations

Begin na te denken over hoe je toegang tot quantumcomputing mogelijk kunt maken voor onderwijs, onderzoek en de ontwikkeling van use cases.



TREND #4

Het versterken van de robuustheid en het potentieel van quantumcomputing

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid Keuzevrijheid Pluriformiteit
	Rechtvaardigheid	Gelijkwaardigheid Integriteit Toegankelijkheid
	Menselijkheid	

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Bestuurders

Digitale transformatie; Technologische vooruitgang en computation; Automatisering en AI; Kritieke infrastructuur; Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit

Quantumcomputers (QCs) kunnen pas hun volle potentieel benutten als ze betekenisvolle problemen oplossen. Het vergroten van hun rekenkracht gebeurt op drie belangrijke manieren.

Ter eerste maakt hybride high-performance computing–quantum computing (HPC-QC) gebruik van quantumcomputers als co-processors voor berekeningen waarin zij een voordeel bieden. HPC-QC kan niet alleen de mogelijkheden van huidige quantumsystemen uitbreiden, maar in de toekomst ook de prestaties van klassieke HPC-systemen verbeteren. Het vergroot ook de toegankelijkheid van quantumtechnologieën door gebruik te maken van bestaande HPC-infrastructuur en bevordert de acceptatie binnen HPC-gemeenschappen.

Ten tweede, door quantumcomputers te combineren met AI, kan vooruitgang in het ene domein helpen uitdagingen in het andere te overwinnen. Quantumalgoritmen kunnen bijvoorbeeld de prestaties van machine learning verbeteren, terwijl AI-technieken kunnen ondersteunen



bij het optimaliseren van quantumcircuits en foutcorrectie.

Ten derde kan het koppelen van meerdere quantumcomputers via een quantumcommunicatienetwerk hun rekenkracht bundelen. Deze modulaire of gedistribueerde architectuur biedt een route om quantumsystemen te schalen voorbij de beperkingen van individuele systemen.

SIGNALEN

HPC-QC

Quantinuum en Riken (quantinuum.com) [↗](#)

IBM en Euskadi quantum (newsroom.ibm.com) [↗](#)

SURF-quantumcomputer (surf.nl) [↗](#)

Wat is quantum-centric supercomputing (ibm.com) [↗](#)

Quantumcomputing onthuld: inzichten voor de HPC-gemeenschap (quera.com) [↗](#)

“Het ecosysteem rondom quantumcomputing heeft de betekenis van netwerkconnectiviteit voor het opschalen van quantumsystemen onderschat; het opschalen van een enkel quantumsysteem blijkt immers lastig.”

– Jesse Robbers, algemeen directeur imec NL, medeoprichter van en voormalig bestuurslid van Quantum Delta NL

QC&AI Synergie

Generatieve AI voor quantum (quantinuum.com) [↗](#)

De volgende doorbraak in kunstmatige intelligentie: hoe quantum-AI onze wereld zal veranderen (forbes.com) [↗](#)

Ontdek hoe AI quantumcomputing transformeert (thequantuminsider.com) [↗](#)

Quantumcomputing mogelijk maken met AI (developer.nvidia.com) [↗](#)

Quantumcomputers zullen AI verbeteren (quantinuum.com) [↗](#)

Vooraanstaande wetenschappers dringen er bij de EU op aan om te investeren in de combinatie van AI en quantumtechnologie om het concurrentievermogen te versterken (qt.eu) [↗](#)

Gedistribueerde kwaliteitscontrole

IonQ koopt IDQ (idquantique.com) [↗](#)

Photonic demonstreert gedistribueerde verstrengeling tussen modules, wat een belangrijke mijlpaal betekent op weg naar schaalbare quantumcomputers en -netwerken (photonic.com) [↗](#)

Quantum datacenter alliance (qda.global) [↗](#)

Gedistribueerde quantumcomputing (quera.com) [↗](#)

Aangetoonde netwerkverbinding tussen quantumprocessoren over grootstedelijke afstanden (qutech.nl) [↗](#)

IMPACT



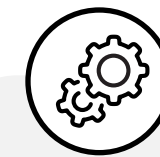
Onderwijs

Er is behoefte aan professionals met meer specifieke vaardigheden en interdisciplinaire kennis.



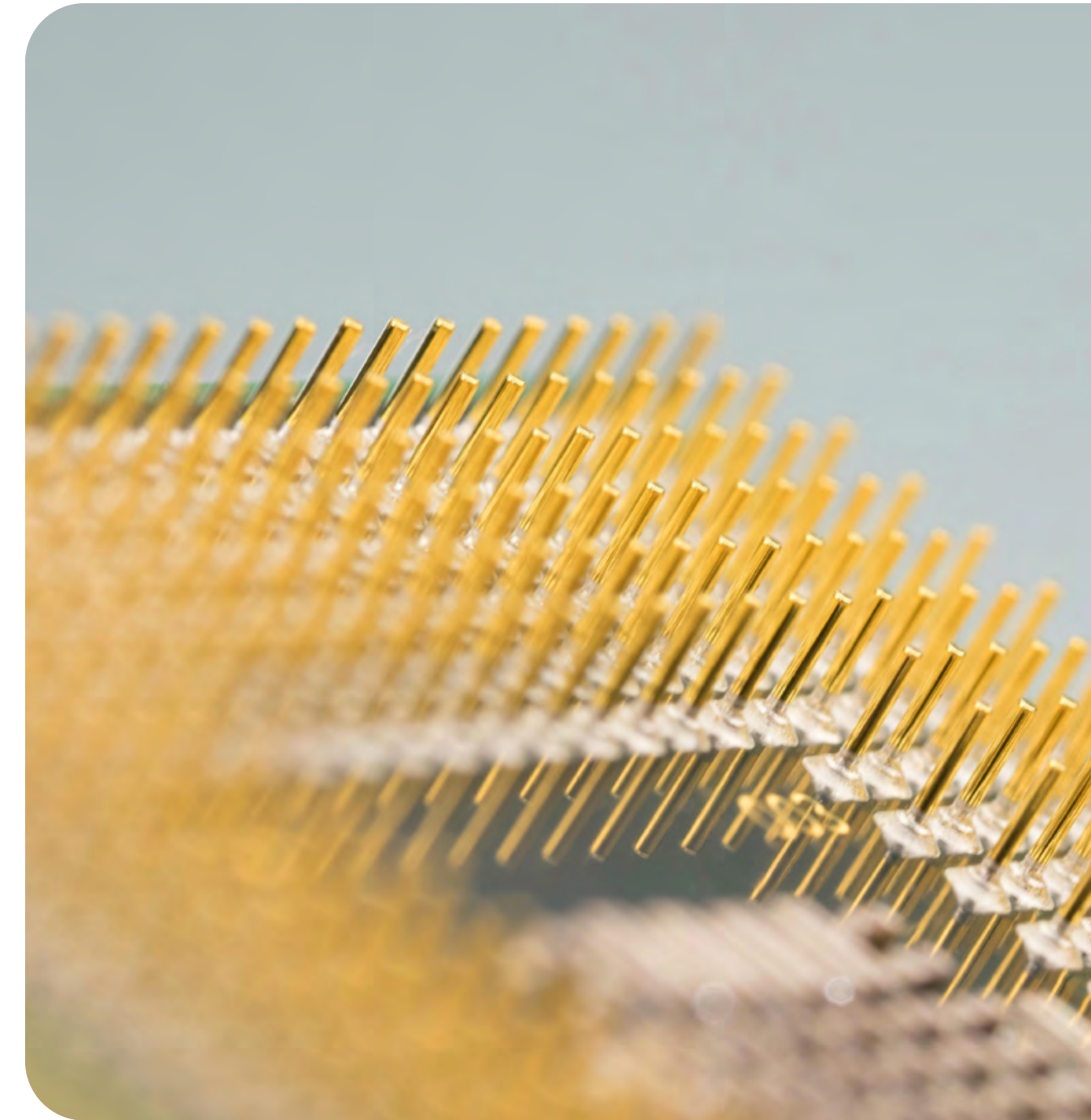
Onderzoek

- Het verbeteren van de robuustheid van quantumcomputers zal de belangstelling voor quantumcomputers stimuleren.
- Door QC te integreren met HPC wordt het voor HPC-gebruikers gemakkelijker om er gebruik van te maken.
- Het onderzoek naar QC&AI zal toenemen.



Operations

- Begin na te denken over en werk aan de integratie van quantumcomputing in de bestaande infrastructuur en het bestaande ecosysteem.
- Begin na te denken over hoe je toegang kunt geven tot onderwijs, onderzoek en de ontwikkeling van use cases.
- Ontwikkel quantumexpertise voor operationeel beheer en ondersteuning van gebruikers.



TREND #5

Integratie van quantumsensing in andere domeinen

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid Keuzevrijheid Pluriformiteit
	Rechtvaardigheid	Gelijkwaardigheid Integriteit Toegankelijkheid
	Menselijkheid	Integriteit Verantwoordelijkheid Duurzaamheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Digitale transformatie; Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit; Politieke/strategische inzet van kennis; Kritieke infrastructuur; Regelgeving en naleving (compliance)

Quantumsensing benut de extreem hoge gevoeligheid van quantumdeeltjes om grootheden te meten die met conventionele sensoren niet waarneembaar zijn, of waarvoor anders veel tijd en aanzienlijke middelen nodig zouden zijn. Binnen de drie kerngebieden van quantumtechnologie is quantumsensing het meest volwassen, met reeds meerdere systemen commercieel beschikbaar. Volgens experts zal de wereldwijde markt voor quantumsensoren naar verwachting groeien tot circa €6 miljard in 2035 en rond de €15 miljard in 2040.

In recente jaren hebben quantumsensoren hun waarde bewezen in uiteenlopende toepassingen, waaronder medische beeldvorming (MRI), spectroscopie voor materiaal- en chemische analyses, positiebepaling, navigatie en tijdsbepaling (position, navigation & timing; PNT), detectie van gaslekken, identificatie van doelwitten op afstand en het gebruik van gravimeters en magnetometers ter ondersteuning van sectoren zoals de mijnbouw en de olie- en gasindustrie.



Aangezien quantumsensoren hun nut reeds in tal van sectoren hebben bewezen en tegelijkertijd kleiner, goedkoper en betrouwbaarder worden, wordt verwacht dat hun toepassingsmogelijkheden de komende jaren sterk zullen toenemen.

SIGNALEN

Meer voorbeelden van use cases

Quantumsensing: klaar om een enorm potentieel te realiseren in vele sectoren (mckinsey.com) [↗](#)

Detectie van ondergrondse infrastructuur (tcs.com) [↗](#)

Gezondheidszorg (qtsense.com) [↗](#)

Magnetische velddetectie (bosch-quantumsensing.com) [↗](#)

Positionering en timing (q-ctrl.com) [↗](#)

Het meten van magmastromen onder vulkanen (exail.com) [↗](#)

AI kan helpen bij het verkrijgen van betere, zeer nauwkeurige gegevens door quantumsensoren (postquantum.com) [↗](#)

“Vier van de meest veelbelovende toepassingsgebieden voor quantumsensing zijn positiebepaling, navigatie en tijdsbepaling (PNT), gezondheidszorg, halfgeleiderproductie en ondergrondse exploratie. In al deze sectoren is in Europa een groeiende stroom van startups waarneembaar.”

- dr. Clara Osorio Tamayo, QDNL CAT3-programmaleider, TNO-wetenschapper

Verslag van QED-C (quantumconsortium.org) [↗](#)

Kijken naar praktijkvoorbeelden van quantumsensoren (insidequantumtechnology.com) [↗](#)

IMPACT



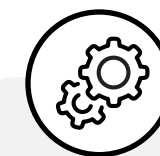
Onderwijs

- Er is meer bewustzijn nodig over quantumsensoren.
- Bepaalde quantumsensoren kunnen eenvoudig tot prototypen worden ontwikkeld, wat ze bijzonder geschikt maakt voor onderwijs- en trainingsdoeleinden.
- Quantumsensing betreft het zeer nauwkeurig meten van grootheden. Het is essentieel om de discussie te voeren over de politieke, ethische en maatschappelijke implicaties.



Onderzoek

- Vooruitgang wordt verwacht in bestaande toepassingsgebieden van quantumsensoren, zoals de gezondheidszorg, medische sector, aardwetenschappen en astronomie.
- Er zullen nieuwe onderzoeksdomeinen ontstaan die quantumsensing zullen benutten.
- Bovendien worden nieuwe toepassingen van reeds beschikbare technologie ontwikkeld.



Operations

Begin na te denken over de aanschaf van quantumsensorsystemen voor onderzoek en onderwijs.



SURF Utrecht

Kantoren Hoog Overborch
Hoog Catharijne
Moreelsepark 48
3511 EP Utrecht
+31 88 787 30 00

SURF Amsterdam

Science Park 140
1098 XG Amsterdam
+31 88 787 30 00

futuring@surf.nl
www.surf.nl

