

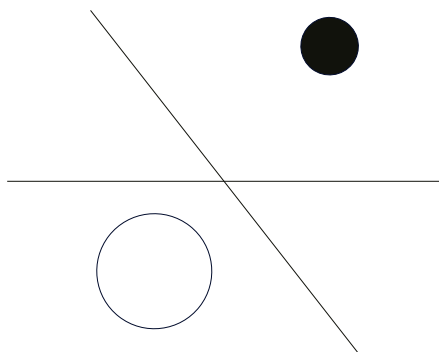


Exploratory Quantum Technology Assessment

Geef richting aan de impact van quantumtechnologie

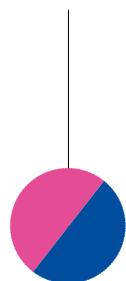


Quantum Delta NL



De EQTA werd mogelijk gemaakt door het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, en is gefinancierd uit het Groeifondsprogramma Quantum Delta Nederland.

De EQTA is een tool van het Centre for Quantum and Society.



Exploratory Quantum Technology Assessment

Een praktisch stappenplan voor organisaties om de maatschappelijke, technische, juridische en ethische implicaties van quantumtechnologie te verkennen.

DOEL EXPLORATORY¹ QUANTUM TECHNOLOGY ASSESSMENT (EQTA)

Quantumtechnologie is een sleuteltechnologie: dat wil zeggen een impactvolle technologie die meer en meer onderdeel wordt van de producten en diensten om ons heen, van onze computers, sensoren en netwerken. De kansen die dat biedt voor samenleving, economie en wetenschap zijn groot en quantumtechnologie zal op een positieve manier kunnen bijdragen aan de uitdagingen waar de samenleving voor staat.

Quantumtechnologie is volop in ontwikkeling: sommige toepassingen zijn nu al mogelijk, andere komen de volgende jaren op de markt en weer andere vergen nog grote technische doorbraken. De richting van deze ontwikkelingen wordt echter mede bepaald door de kansen en toepassingsmogelijkheden waar organisaties en de samenleving op inzetten. Het nadenken over de kansen en mogelijkheden en het op tijd creëren van de randvoorwaarden voor verantwoorde toepassing vergt gerichte inspanning.

¹ Het woord 'exploratory' is gekozen omdat quantumtechnologie sterk in ontwikkeling is, evenals de omstandigheden die van invloed zijn op toepassingen: denk aan de komende en steeds veranderende wet- en regelgeving rond veiligheid en privacy, data en cloud, de snelle standaardisatieontwikkelingen van quantumtechnologie en geopolitieke ontwikkelingen.

De EQTA is een praktisch stappenplan dat organisaties helpt met deze inspanning: door tijdig de kansen en de impact van quantumtechnologie te verkennen kan een organisatie negatieve effecten voorkomen en randvoorwaarden creëren. Dit is nodig om de mogelijkheden en de impact in goede banen te leiden.

De EQTA is een instrument waarmee Quantum Delta Nederland (QDNL), dat de inspanningen in Nederland rondom quantumtechnologie bundelt, bijdraagt aan het optimaal en verantwoord benutten van de kansen van quantumtechnologie.

De EQTA ondersteunt twee soorten organisaties:

- Organisaties die nu of in de toekomst de impact van quantumtechnologie ondervinden wanneer quantumtechnologie meer en meer wordt toegepast;
- Organisaties die zelf nu of in de toekomst quantumtechnologie ontwikkelen of toepassen.

De EQTA – Quickscan en stappenplan

De EQTA begint met een Quickscan die bestaat uit de volgende stappen:

- Verkenning technologie: wat is het? Een korte oriëntatie op quantumtechnologie en tijdspaden (zie [Bijlage 01: Quantumtechnologie in het kort](#)).
- Verkenning toepassingsmogelijkheden: wat komt er op de organisatie af? Een korte oriëntatie op toepassingsmogelijkheden aan de hand van voorbeelden. (zie [pagina 30: Quantum Delta Nederland](#)).
- Korte beschrijving: op basis van de impressie van toepassingsmogelijkheden aan de hand van voorbeelden schetsen welke impact de organisatie gaat ondervinden van quantumtechnologie en/of welke van de toepassingen relevant zijn voor een specifieke organisatie.
- Korte stakeholderanalyse: wie zijn de belangrijke stakeholders/kennishouders die de impact ondervinden?

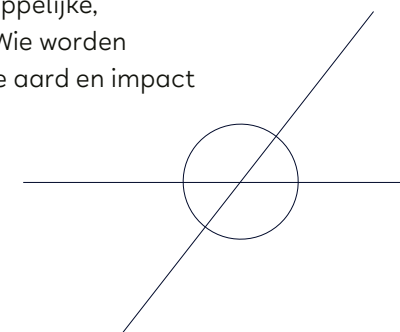
- Dialoogsessie: verkennen en toetsen wat nodig is om de mogelijkheden van quantumtechnologie optimaal te benutten en zo nodig negatieve effecten te voorkomen (zie [pagina 15 Praktijk - stap 4: Dialoog met stakeholders](#)).

Als uit de dialoogsessie blijkt dat actie nodig is, kunnen organisaties vervolgens de hele EQTA doorlopen om specifieke gebieden verder te verkennen (maatschappelijk, technisch, juridisch en ethisch).

Voor wie is de EQTA?

De EQTA is relevant voor iedere organisatie die de impact ondervindt van toepassing van quantumtechnologie of zich bezighoudt met de (toekomstige) ontwikkeling en toepassing van quantumtechnologie, de kansen die dat biedt voor de organisatie en wat nodig is om die kansen op een verantwoorde manier te realiseren en negatieve effecten te voorkomen. Om de mogelijkheden en de gevolgen te verkennen worden maatschappelijke, technische juridische en ethische kaders betrokken. Meer specifiek kan gedacht worden aan: kwartiermakers voor quantumtoepassingen, innovatiemanagers, (Chief) Security Officers, (Chief) Information Officers, juristen en ethici.

Het is belangrijk om te bedenken dat deze doelgroepen wellicht het initiatief nemen om de EQTA te doorlopen, maar dat ze - om de verschillende belangen en perspectieven goed mee te kunnen wegende dialoog moeten aangaan met verschillende experts en belanghebbenden. Denk aan management en bestuurders, de mensen die zullen moeten werken met de technologie en de organisaties en personen rond een organisatie die de gevolgen ervaren. Sommige vraagstukken kunnen alleen goed in beeld worden gebracht door ook dienstverleners, technologieaanbieders of wetenschappers en experts op een specifiek gebied erbij te betrekken (denk aan experts op het gebied van de maatschappelijke, technologische, juridische en ethische aspecten). Wie worden betrokken bij de dialoog is sterk afhankelijk van de aard en impact van quantumtechnologie voor de organisatie.



Die dialoog is nodig omdat besluiten rond quantumtechnologie vaak een heel complexe afweging (zullen) vergen, waarbij de overwegingen en kennis van experts uit heel verschillende vakgebieden en belanghebbenden met heel verschillende achtergronden moeten worden betrokken. Bovendien moet rekening worden gehouden met de onzekerheden rond de techniek en de organisatiedoelen moeten niet uit het oog worden verloren. De dialoog wil bewerkstelligen dat betrokkenen zoveel kennis en begrip ontwikkelen van elkaars perspectieven, dat ze gezamenlijk aanpakken kunnen bedenken die zo veel mogelijk recht doen aan die perspectieven (zie [pagina 15 Praktijk - stap 4: Dialoog met stakeholders](#)).

De EQTA helpt organisaties om die verschillende aspecten in kaart te brengen en tot een besluit te komen en dat besluit te verantwoorden, en vervolgens processen in te richten om die afwegingen te evalueren en nieuwe informatie en inzichten te verwerken.



“QUANTUMTECHNOLOGIE IS EEN
SLEUTELTECHNOLOGIE: EEN IMPACTVOLLE
TECHNOLOGIE DIE MEER EN MEER ONDERDEEL
WORDT VAN DE PRODUCTEN EN DIENSTEN
OM ONS HEEN”



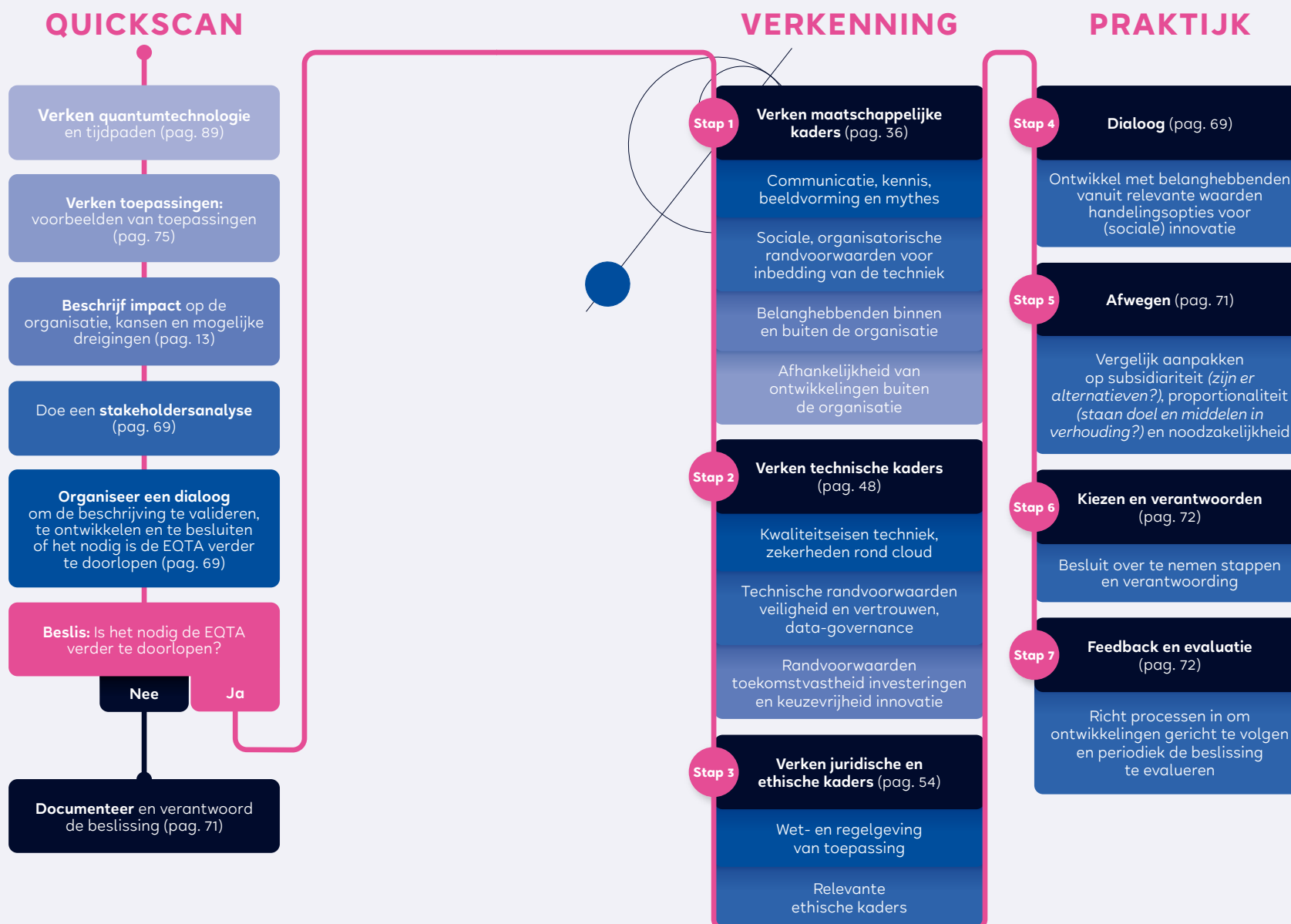
Quickscan en stappenplan

De EQTA helpt organisaties de stappen te zetten die nodig zijn om tot verantwoorde toepassing van quantum-technologie te komen en de impact te beheersen.

De Quickscan geeft snel inzicht in de aandachtspunten om tijdig de impact van quantum-technologie te sturen.

Als uit de quickscan blijkt dat verantwoorde inbedding van quantumtechnologie sturing vereist ga dan door naar stap 1 van het stappenplan.

Als sturing niet nodig is wordt deze beslissing gedocumenteerd.



Figuur 01 De EQTA – Quickscan en stappenplan





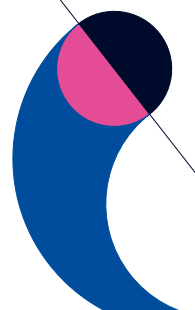
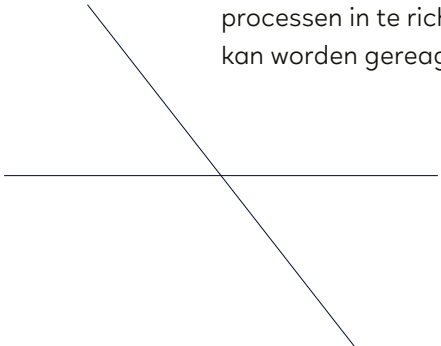
EQTA IN EEN NOTENDOP

Het volledige EQTA-stappenplan bestaat uit de **EQTA-quickscan**, een **verkennend deel** (stap 1, 2 en 3) en een **praktijkdeel** (stap 4, 5, 6 en 7).

Algemene opmerking vooraf:

In de stappen wordt vanuit verschillende perspectieven en belangen naar dezelfde zaken gekeken. De uitkomsten van de stappen hangen daardoor vaak samen en overlap is onvermijdelijk. Probeer dubbeling te vermijden en recht te doen aan de verschillende perspectieven en belangen.

Sommige vragen uit het stappenplan zijn nog niet goed te beantwoorden, bijvoorbeeld omdat het idee over de toepassing op een bepaald moment nog heel globaal is. Het is belangrijk processen in te richten waardoor tijdig op relevante ontwikkelingen kan worden gereageerd.



EQTA-Quickscan

De Quickscan heeft als doel snel een beeld te vormen wat door quantumtechnologie op organisaties afkomt en welke kansen de technologie biedt. Afhankelijk van de bevindingen stopt de EQTA na de Quickscan.

De Quickscan bestaat uit de volgende delen:

- Verkenning quantumtechnologie; Een korte oriëntatie op quantumtechnologie en tijdpaden.
- Verkenning toepassingen; wat komt er op uw organisatie af? Wat gaat quantumtechnologie betekenen voor uw organisatie als de technologie toegepast wordt, of als u quantumtechnologie zelf toepast?
- Verken in een stakeholderanalyse wie (in grote lijnen) de gevolgen ondervinden van deze toepassingen in en rond uw organisatie.
- Organiseer een dialoog tussen belanghebbenden, organisaties en experts. Doel van de dialoog is een zo realistisch mogelijk beeld te krijgen van de impact van quantumtechnologie, de kansen voor de organisatie en de randvoorwaarden om deze kansen op verantwoorde manier te benutten.

Als uit deze Quickscan blijkt dat de organisatie nu al actie moet ondernemen of ontwikkelingen actief moet gaan volgen, gaat u verder met stap 1 (Verkenningen).



Verkenning

Stap 1: Verken het maatschappelijke kader

- Beeldvorming: verken welke groepen moeten meedenken over de toepassing en wat zij van quantumtechnologie moeten weten.
- Sociotechnisch ecosysteem: verken de sociale en technische voorwaarden om quantumtechnologie succesvol te kunnen toepassen. Denk aan: vaardigheden en kennis, organisatorische processen en sturing en de betekenis van de toepassing voor de technologie die de organisatie gebruikt.
- Stakeholders: verken op wie de toepassing effect gaat hebben en hoe deze groepen betrokken kunnen worden.
- Externe afhankelijkheden: verken of aanpassingen nodig zijn van de regels en procedures die gelden voor het toepassingsdomein, van (beroeps)codes en best practices of van standaarden. Verken of samenwerking nodig is met derden (zakelijke (keten)partners, toezichthouders, politiek/bestuurlijk) om deze toepassing te realiseren. (Zie ook stap 3 – *Juridische en ethische kaders*)
- Internationale context: verken in welke opzichten de toepassing afhankelijk is van internationale samenwerking en geopolitieke ontwikkelingen en hoe deze internationale afhankelijkheden kunnen worden bewaakt en beïnvloed.

Stap 2: Verken de technologische kaders

Verken de eisen die aan de toepassing worden gesteld:

- vanuit technisch perspectief, met aandacht voor zoals veiligheid, betrouwbaarheid en duurzaamheid;
- vanuit de technische randvoorwaarden aan veiligheid, vertrouwen en data-governance. Denk aan deelname aan (en ontwikkeling van) data-ecosystemen, betrouwbare en veilig supply chains voor technologie en cloud, authenticatie en autorisatie;
- vanuit het perspectief van toekomstvastheid van investeringen, keuzevrijheid en flexibiliteit van de organisatie om het tempo en de richting van innovatie te bepalen.

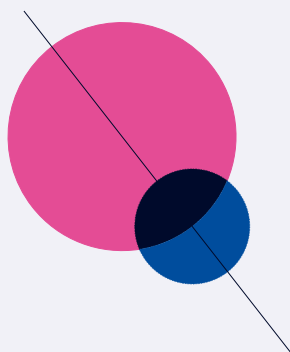
Stap 3 : Verken juridische en ethische kaders

Verken de juridische kaders die gelden voor de toepassing:

- internationaal: grondrechten en verdragen;
- nationaal, sectoraal of industriespecifiek;
- (overheids)toezicht (financieel, veiligheid, continuïteit en verantwoording),
- intellectueel eigendom, techniekspecifiek (denk aan de AI Act of beperkingen op verspreiding/gebruik van technologie);
- geopolitiek: kaders rond (inter)nationale zelfbeschikking, restricties op samenwerking met mensen en bedrijven.

Verken de ethische kaders van de organisatie:

- Breng in kaart hoe quantumtechnologie kan bijdragen aan de waarden die belangrijk zijn voor de organisatie.



Praktijk

Stap 4 : Dialoog met stakeholders (tevens laatste stap EQTA-Quickscan)

Organiseer een dialoog:

- Vanuit een praktijktoepassing van quantumtechnologie.
- Met betrokken burgers/consumenten, professionals, management/beleid en technologie.
- Vanuit de waarden die zij inbrengen.

Het doel van de dialoog is om zo tot concrete handelingsopties te komen voor de technologie, voor organisatie/beleid en voor mensen. Dit vergroot de kans op effectieve en gedragen implementatie van de toepassing.

Stap 5 : Afwegen subsidiariteit, proportionaliteit en noodzakelijkheid

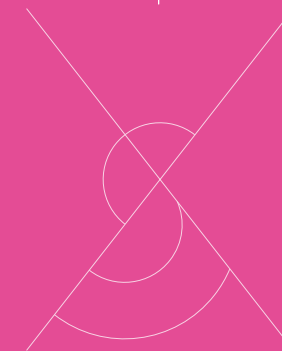
Vergelijk de aanpakken uit stap 4 op subsidiariteit (zijn er andere mogelijkheden om de doelen te bereiken?), proportionaliteit (staat de impact van de aanpak in verhouding tot het doel?) en noodzakelijkheid (is de aanpak noodzakelijk om een doel te bereiken?).

Stap 6 : Kiezen, vastleggen en verantwoorden

Documenteer de gemaakte keuzes en de verantwoording.

Stap 7 : Feedback en periodieke evaluatie

Richt de processen in om te bewaken dat toepassingen worden gerealiseerd en dat ze de effecten hebben die worden verwacht. Stuur actief op de realisatie van deze effecten.





VOORWOORD

Quantumtechnologie is veelbelovend. Het biedt ongeken- de, nieuwe kansen en innovatiemogelijkheden. Tegelijkertijd is het technologiegebied nog flink in ontwikkeling en zijn nog niet alle toepassingen uitgekristalliseerd.

Bij organisaties die al geïnteresseerd zijn in quantumtechnologie gaat het vaak om de pioniers in een organisatie: de technische experts en de innovatiemanagers die willen weten wat er op hen afkomt, of die willen starten met het verder ontwikkelen en gebruiken van een daadwerkelijke toepassing.

Juist in deze fase van verkennen en onderzoeken wat de technologie in een bepaald toepassingsgebied kan betekenen, kan een verbreding van de verkenning naar de bredere maatschappelijke, ethische, juridische en technische context nodig zijn om ervoor te zorgen dat de kansen worden benut en negatieve effecten worden voorkomen.²

Om praktische handvatten te bieden aan de quantumpioniers in organisaties, zodat zij aan de genoemde verbreding kunnen vormgeven en binnen organisaties kunnen duiden hoe de ethische, juridische en maatschappelijke aspecten van invloed kunnen zijn op de organisatie, presenteren wij u de Exploratory Quantum Technology Assessment (EQTA). Het biedt een concreet stappenplan gericht op

² Lessons from AI: stakeholder engagement – Quantum Delta Nederland (2022). <https://quantumdelta.nl/news/qdnl-white-paper-2-3-lessons-from-ai-communication>.

daadwerkelijke toepassingen, geeft verdieping en achtergrond bij de te nemen stappen en schetst voorbeelden en scenario's uit het veld. De EQTA helpt organisaties om de mogelijke impact voor hun sector in beeld te brengen.



“Quantumtechnologie is veelbelovend, maar staat nog in de kinderschoenen, als het gaat om toepasbaarheid.”

EQTA is geschreven in opdracht van Quantum Delta Nederland (QDNL) en heeft vorm gekregen in een werkgroep die drie werelden verenigt: die van de makers van de technologie, die van de innovatiemanagers en quantumpioniers bij bedrijven en organisaties die ermee aan de slag willen of erdoor geraakt worden, én die van juristen en ethici. De EQTA brengt deze heel verschillende perspectieven in begrijpelijke taal samen.

Om tot een integratie te komen ging de werkgroep uit van de volgende principes: constructief, participatief, bottom-up en praktisch bruikbaar. Ook vindt u de doorverwijzing naar diverse loketten bij QDNL en het Centre for Quantum & Society. Bij dit initiatief werken alle betrokken partijen in co-creatie samen.

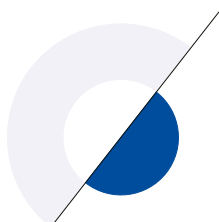
Wij wensen u veel inspiratie, kennis en succes toe bij het zetten van de volgende stap!

Freeke Heijman (*bestuurslid QDNL*)

Bart Schermer (*voorzitter werkgroep EQTA*)

Daniël Frijters (*co-voorzitter werkgroep EQTA*)

De leden van de EQTA-werkgroep



Freeke Heijman

Co-founder Quantum Delta NL, director ecosystem development, opdrachtgever EQTA.

“Omdat Quantum Technologie nog in de fase van onderzoek en ontwikkeling zit, is het lastig om voor te stellen hoe het straks de maatschappij gaat beïnvloeden. Voor veel mensen, bedrijven en organisaties is het nog ver van het bed. Toch is het belangrijk om ons nu al voor te bereiden op de maatschappelijke implicaties, zodat we de kansen zo goed mogelijk kunnen benutten en de risico's kunnen mitigeren. Dat vraagt een actieve aanpak om samen met eindgebruikers en maatschappelijke organisaties de ethische, juridische en maatschappelijke implicaties van mogelijke quantumapplicaties in kaart te brengen. De Exploratory Quantum Technology Assessment van het QDNL Center voor Quantum & Society biedt hiervoor een concreet stappenplan.”



Bart Schermer

Voorzitter begeleidingsgroep EQTA, hoogleraar privacy & cybercrime, Universiteit Leiden en Partner Considerati.

“Quantumtechnologie heeft een potentieel grote impact op de samenleving. Door vroeg in de ontwikkeling van deze technologie te kijken naar de ethische, juridische en maatschappelijke effecten hebben we de beste kans om de technologie in de toekomst verantwoord toe te passen.”



Daniël Frijters

Co-voorzitter begeleidingsgroep EQTA, MT lid ECP | Platform voor de Informatiesamenleving.

“Ik ben vanuit het Centre for Quantum and Society van Quantum Delta Nederland betrokken bij het ontwikkelen van inzichten en tools rondom verantwoord innoveren. Quantumtechnologie is veelbelovend, maar staat nog in de kinderschoenen, als het gaat om toepasbaarheid. Voor een evenwichtige inbedding in de samenleving is het cruciaal nu al de dialoog op te starten over belangrijke thema's én praktische handvatten te bieden voor organisaties, zodat innovatie begeleid wordt.”



DE EQTA BEGELEIDINGSGROEP



Camille de Valk

Quantum algoritme-ontwikkelaar bij Capgemini.

“In het Capgemini Quantum Lab experimenteer ik samen met partners om toepassingen van quantumtechnologie dichterbij te brengen. Volgens mij moeten we op zoek naar bedrijfsprocessen waar nu (omwille van te weinig rekenkracht) veel versimpelingen worden gemaakt, bijvoorbeeld in finance of pharma. Quantumtechnologie brengt een nieuwe werkelijkheid waar we zaken kunnen uitrekenen waarvan we vandaag niet eens durven dromen.”



Eelco Vriezokolk, Lizzy Polman

Rijksinspectie Digitale Infrastructuur.

“De Rijksinspectie Digitale Infrastructuur (voorheen Agentschap Telecom) is in 2021 gestart met het onderzoeken van quantumtechnologie en de impact op de maatschappij van de uiteenlopende toepassingen die momenteel, weliswaar in verschillende tijdspaden, in ontwikkeling zijn. Quantumtechnologie biedt vele kansen, maar kan ook onwenselijke effecten hebben, wanneer organisaties niet op tijd voorbereid zijn.

De Exploratory Quantum Technology Assessment helpt om bewustwording binnen de organisatie te versnellen en biedt een stapsgewijze handreiking om te discussiëren over de maatschappelijke en organisatorische context waarin de quantumtoepassing zijn plek gaat vinden. Zo blijft Nederland veilig verbonden.”



“Quantumtechnologie biedt vele kansen, maar kan ook onwenselijke effecten hebben, wanneer organisaties niet op tijd voorbereid zijn.”

Frank Phillipson

Senior scientist bij TNO en hoogleraar Computational Operations Research aan de Universiteit Maastricht. Frank is gespecialiseerd in het optimaliseren van telecommunicatie, energie en logistieke netwerken. Zijn onderzoek richt zich op nieuwe technieken voor optimalisatie en Machine Learning met quantumcomputing.

“TNO zet in op technologische ontwikkelingen voor maatschappelijke en economische uitdagingen. Inachtneming van wetgeving – zoals privacy- en ethiek is hierbij van cruciaal belang.”



Jelle Attema

Adviseur ECP | Platform voor de Informatiesamenleving, Secretaris EQTA begeleidingsgroep.

“De ontwikkeling van de EQTA was een spannende reis. Ik hoop dat de EQTA organisaties gaat helpen om te herhalen wat de werkgroep naar mijn mening gelukt is: verschillende expertises en invalshoeken in vruchtbaar en creatief gesprek brengen met als doel het verantwoord kunnen benutten van de mooie kansen van quantumtechnologie.”





Germain van der Velden, Loulou Hanna, Sterre Romkema

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

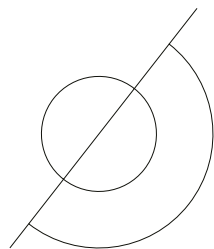
“Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) werkt aan een leefbaar, bereikbaar en veilig Nederland. Door vroegtijdig inzicht te hebben in de kansen en bedreigingen van nieuwe technologieën zoals quantumtechnologie, kan IenW goed anticiperen op deze technologieën. Voor quantumtechnologie betekent het dat wij voor nu de focus leggen op het beperken van de toekomstige dreigingen die uitgaan van quantumtechnologie. Op deze manier houden wij Nederland ook in de toekomst leefbaar, bereikbaar en veilig.”



Eline de Jong

PhD-kandidaat Philosophy and Ethics of Quantum-Safe Cryptography en co-auteur van het WRR-rapport ‘Opgave AI. De nieuwe systeemtechnologie’.

“In het rapport ‘Opgave AI’ laat de WRR zien langs welke lijnen de inbedding van een systeemtechnologie als AI in de samenleving plaatsvindt. Die inzichten zijn ook relevant voor onze ambities met quantumtechnologie. Met een verkenning van de maatschappelijke context verbreedt de EQTA onze blik op de factoren die bijdragen aan een succesvolle toepassing van deze nieuwe technologie in de praktijk.”



ing. Oscar Covers RE MSc

Cyber Security Analyst bij de Nederlandse Vereniging van Banken (NVB).

“Ik ben Cyber Security Analyst en quantum-enthousiast. In mijn rol analyseer ik voor de financiële sector ICT-gerelateerde veiligheidsrisico's en coördineer ik — waar nodig — de respons.”



Jacqueline Schardijn

Senior Business Developer, InnovationQuarter Zuid-Holland.

“We moeten in actie komen om quantumtechnologie in onze provincie te ontwikkelen en toe te passen, zodat industrie en inwoners ervan kunnen profiteren. Zo kunnen we bovendien een leidende rol op ons nemen, zowel nationaal als in Europa.”



Harry van Geijn

Digital Advisor bij Microsoft Nederland.

“Als Digital Advisor ondersteun ik al meer dan tien jaar de grote klanten van Microsoft op het gebied van de bedrijfsmatige en ethische aspecten van technologie. De focus ligt daarbij op de innovatieve toepassing van IT, de organisatorische inrichting van de informatie-functie en de impact van technologie in termen van ethiek en duurzaamheid. Daarnaast las ik als (zelfverklaard) nerd als kind al boeken over kernfysica. Het was dus onvermijdelijk om ook in een vroeg stadium geïnteresseerd te raken in quantumtechnologie. Het mogen bijdragen aan de EQTA is daarvan een mooi uitvloeisel.”





Pieter Vermaas

Onderzoeker techniekfilosofie, TU Delft.

“Ik werk als techniekfilosoof bij de TU Delft aan de ethische en maatschappelijke impact van quantumtechnologie en leid het ethisch onderzoek voor het Centre for Quantum and Society van Quantum Delta Nederland. De grote uitdagingen die ik daarbij oppak zijn het kunnen inschatten wat realistisch de toekomstige toepassingen van quantum-technologie zijn, en stakeholders het vermogen geven om die toepassingen te begrijpen en beoordelen.”



Mark Wiertsema

Digital Advisor Microsoft Nederland.

“Met Harry van Geijn ben ik één van de oprichters van het Quantum Team van Microsoft Nederland. Persoonlijk ben ik gefascineerd door de belofte en de dynamiek van de technologie. Door de bijzondere eigenschappen kunnen we er bijzondere dingen mee doen. Omdat Microsoft werkt aan het beschikbaar krijgen van quantum(computing) technologie, voelen we verantwoordelijkheid om dat op een veilige en verantwoorde manier te doen. Het NL Quantum Team heeft zich daarom ten doel gesteld om de maatschappij, organisaties en individuen te helpen klaar te zijn voor de adoptie van deze nieuwe technologie. Meewerken aan de EQTA is daarvoor een prachtige manier en ik hoop dat het project zal bijdragen aan het veilig waarmaken van de beloftes van quantum.”

Marianne Schoenmakers

Senior Consultant Responsible Tech bij Considerati, co-auteur van de EQTA.

“Samen met het Responsible Tech-team van Considerati adviseer ik bedrijven en organisaties over maatschappelijke en ethische aspecten van de inzet van (nieuwe) technologie en data. Quantumtechnologie is, in vergelijking met bijvoorbeeld AI, nog in een vroeg stadium van ontwikkeling. Dat biedt de unieke kans om maatschappelijke en ethische aspecten al in de designfase van toepassingen mee te nemen. Ik zie het als een vorm van ethics by design.”



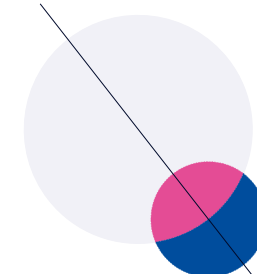
Remco Helwerda

Visionary Advisor, KPN.

“KPN heeft als missie-statement: ‘Wij zetten alles op alles om iedereen in Nederland te verbinden met een duurzame toekomst’. Daarom is het belangrijk om naar technologische ontwikkelingen die kunnen bijdragen aan die duurzame toekomst, , zoals quantum technologie, te kijken. De EQTA is daar een mooi hulpmiddel voor geworden.”

Mauritz Kop
TTLF Fellow en Visiting “Quantum & Law” Scholar aan Stanford Law School, Stanford University, USA, en Directeur van AIRect.nl, Nederland

“Het was inspirerend om in een multidisciplinaire setting te werken aan ‘s wereld eerste assessment-tool voor quantumtechnologie. Vanuit een quantum-ELSPI (ethical, legal, societal, political) perspectief heb ik meegeschreven aan de sociale, juridische en ethische kaders van de EQTA, met een focus op intellectueel eigendom, regelgeving en maatschappelijke inbedding. Het institueren van een risk-based juridisch-ethisch kader in combinatie met standaardisatie, certificering en technologie-effectbeoordeling gedurende de levenscyclus van quantumgestuurde systemen zoals computers, sensors en communicatienetwerken, is cruciaal om verantwoorde quantuminnovatie te waarborgen. Dank aan ECP en QDNL voor het samenbrengen van alle meewerkende partijen!”



Inhoudsopgave

Doel Exploratory Quantum Technology Assessment (EQTA)	03
EQTA in een notendop	11
Voorwoord	17

01

De relatie EQTA, Quantum Delta Nederland en andere assessments 29

Hoe verhoudt de EQTA zich tot andere assessments?	30
EQTA en Quantum Delta Nederland	30
Overzicht van de activiteiten van QDNL	31

02

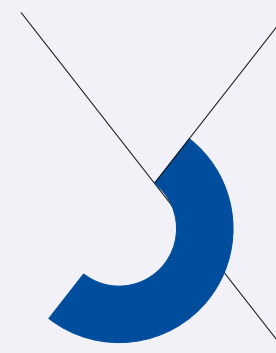
Het EQTA stappenplan 35

Quickscan	35
Verkenning	36
Praktijk	69

03

Voorbeelden quantumtechnologie 75

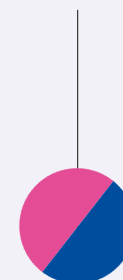
Quantumsensing en waterkwaliteit	76
Pilot veilig communicatienetwerk Havenbedrijf	78
Vorbereiding quantumveilige encryptie bij de overheid en financiële sector	79
Verkenning quantumtechnologie in de financiële sector	81
Quantumtechnologie in de telecomsector	83



BIJLAGE 01

Quantumtechnologie in het kort 89

Technology Readiness Levels (TRL's)	90
Wat is quantumtechnologie?	90
Wat kan quantumtechnologie?	93







01

DE RELATIE EQTA, QUANTUM DELTA NEDERLAND EN ANDERE ASSESSMENTS

Dit hoofdstuk gaat in op de vraag hoe de EQTA zich verhoudt tot andere assessments die veel organisaties zullen kennen: denk aan de Data Protection Impact Assessment (DPIA).

Een tweede relatie is die tussen de EQTA en Quantum Delta Nederland (QDNL). De EQTA is immers beperkt in scope en bij het doorlopen zullen bij lezers ongetwijfeld vragen opkomen. In de paragraaf over Quantum Delta Nederland worden de verschillende manieren besproken waarop QDNL de lezers kan helpen hun vragen te beantwoorden.

HOE VERHOUDT DE EQTA ZICH TOT ANDERE ASSESSMENTS?

Er bestaan vele instrumenten en methoden om de negatieve effecten van nieuwe technologieën en diensten in te schatten. Denk bijvoorbeeld aan de Data Protection Impact Assessment (DPIA) of de Impact Assessment Mensenrechten en Algoritmen (IAMA).

De EQTA is geen vervanging voor andere assessments, zoals de DPIA of IAMA, die mogelijk naast of in aanvulling op dit instrument kunnen worden uitgevoerd. Wanneer bijvoorbeeld quantumtechnologie wordt gebruikt om betere Machine Learning-modellen te ontwikkelen, is het zinvol om naast dit instrument ook de IAMA te gebruiken die specifiek kijkt naar de negatieve effecten van algoritmen.

De belangrijkste toegevoegde waarde van dit instrument zit in het vroegtijdig gestructureerd nadenken over de impact van quantumtechnologieën.

EQTA EN QUANTUM DELTA NEDERLAND

De EQTA is geschreven in opdracht van Quantum Delta Nederland (QDNL) en wel specifiek in opdracht van het Centre for Quantum and Society (CQS). Het centrum houdt zich bezig met ELSA-tooling & research (ELSA is een afkorting van Ethical, Legal and Societal Aspects), het creëren van awareness en de maatschappelijke thema's waaraan quantumtechnologie kan bijdragen.

Het doorlopen van de EQTA zal vaak vragen oproepen bij organisaties over allerlei aspecten van quantum, die de EQTA niet behandelt. Het CQS is het eerste loket om deze vragen te stellen en om hulp te vragen.

OVERZICHT VAN DE ACTIVITEITEN VAN QDNL

CQS is onderdeel van Quantum Delta Nederland (QDNL). QDNL coördineert de inspanningen rond quantumtechnologie in het Nederlandse ecosysteem. Er wordt aan de volgende vraagstukken gewerkt:

Quantum Awareness (op maatschappelijk vlak)

Quantum.Amsterdam (<https://www.quantum.amsterdam/>), of specifiek: <https://www.quantum.amsterdam/education/workshops-and-training/>) biedt vanuit de Quantum.Amsterdam-hub als netwerkorganisatie awareness-trainingen om begrip te krijgen voor de technische, economische en maatschappelijke impact van quantumtechnologie, met een focus op computing.

Quantum for Business (<https://www.quantumforbusiness.eu/>) is een *fieldlab* binnen het QDNL-programma en richt zich op de Europese markt van bedrijven en organisaties en wil toegang tot kennis over quantumtechnologie en de partijen om mee samen te werken faciliteren.

Co-creatie-plaatsen

Centre for Quantum & Society (<https://quantumdelta.nl/cqs/>) is de centrale co-creatie-activiteit vanuit het QDNL Quantum & Society-programma. Een virtuele en fysieke plek waar partijen uit maatschappij, industrie, overheid en wetenschap samenkomen om te werken aan de toepassing van quantumtechnologie ten bate van de maatschappij.

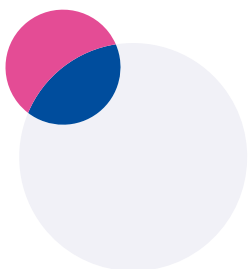


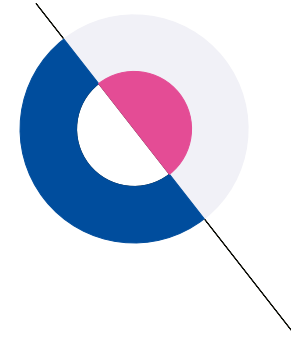
House of Quantum (<https://www.houseofquantum.com>). Dit moet een organisatie van landelijke fysieke ruimtes binnen het QDNL ecosysteem worden, waar leden kunnen werken, leren en samenkomen.

De DELTA Hub (<https://quantumdelta.nl/our-hubs/>). Het QDNL-programma kent 5 hubs (Delta, Eindhoven, Leiden, Twente en Amsterdam) waar allerlei co-creatie-activiteiten plaatsvinden.

Applicatieontwikkeling en maatschappelijke impact

Het Quantum Applicatie Lab (<https://quantumapplicationlab.com/>). Een *fieldlab* binnen het QDNL-programma, waar door verschillende partijen en quantum tech-providers gewerkt wordt om voor eindgebruikers nuttige quantumcomputing-applicaties te ontwikkelen. Hierbij kunnen maatschappelijke kwesties een rol spelen, waarbij er wordt samengewerkt met het CQS.





02

HET EQTA STAPPENPLAN

QUICKSCAN

De quickscan wordt beschreven in het hoofdstuk 'EQTA in notendop' ([pagina 11](#)). De quickscan ontwikkelt een eerste beeld wat quantumtechnologie gaat betekenen voor een organisatie, wat de kansen zijn die quantumtechnologie voor een organisatie biedt en de mogelijk negatieve effecten.

De quickscan verkent vervolgens in grote lijnen wat nodig is om tot een verantwoorde toepassing te komen en negatieve effecten te beheersen, door de verschillende belangen (van de organisatie zelf en van andere belanghebbenden) te wegen en de technische, maatschappelijke, juridische en ethische randvoorwaarden in kaart te brengen.

Als blijkt uit de quickscan dat een diepgaande analyse nodig is, wordt het stappenplan zoals beschreven in dit hoofdstuk uitgevoerd.

VERKENNING

Stap 1: Maatschappelijk kader

De inzet van quantumtechnologie vindt altijd plaats binnen een groter decor: de samenleving. Een quantumtoepassing moet niet alleen technisch functioneren, het moet vooral ook functioneren *in de samenleving*. We hebben daar te maken met zaken die niet (geheel) binnen de invloedssfeer van individuele organisaties liggen. Denk aan wetgeving, infrastructuur en sentimenten. Als we willen verkennen wat ervoor nodig is om quantumtechnologie in de praktijk te brengen, is het dus van belang om ons ook van die factoren bewust te zijn. In de eerste stap van de EQTA staan we daarom stil bij de maatschappelijke context van quantumtoepassingen.

Met een analyse van de maatschappelijke context verbreden we de blik op de rol van individuele organisaties. We laten zien welke bredere processen van invloed zijn op de toepassing van quantumtechnologie. Naast keuzes over de eigen toepassing, kunnen organisaties ook die processen medevormgeven. Verder laten we zien dat individuele organisaties niet de enige spelers zijn die bepalen hoe quantumtechnologie zijn weg vindt naar de praktijk. Organisaties zijn hierbij deels afhankelijk van andere actoren.

Systeemtechnologie

Om inzicht te krijgen in de maatschappelijke context waarbinnen organisaties met quantumtechnologie aan de slag gaan, maken we gebruik van de het rapport van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) over de opgave van Artificiële Intelligentie (AI).³ Hierin analyseert de WRR de inbedding van Artificial Intelligence in de samenleving.

AI is net als quantumtechnologie te beschouwen als, wat de WRR in het onderzoek een systeemtechnologie⁴ noemt: een technologie die heel veel innovatie mogelijk maakt, op allerlei terreinen, en daardoor een 'systemische' impact heeft op de samenleving. Voorbeelden zijn elektriciteit, de verbrandingsmotor en het internet. Uit onze ervaringen met eerdere systeemtechnologieën trekt de WRR een aantal lessen voor onze omgang met nieuwe systeemtechnologieën, zoals AI. Ook in het geval van quantumtechnologie kunnen we leren van het verleden.

Overigens hebben sommige werkgroepleden moeite met het categoriseren van AI en quantumtechnologie als systeemtechnologie. Het gevaar van het label 'systeemtechnologie' is dat er sprake lijkt van een discontinuïteit: dat de aandacht voor de impact van een technologie en de noodzaak om die te analyseren pas nu nodig is. Terwijl die effecten vaak ook al gelden bij het toepassen van eerdere technologie. Het benadrukken van de discontinuïteit kan leiden tot techniek-specifieke regelgeving, die wel de problemen met nieuwe technologie reguleert, maar niet dezelfde problemen met bestaande technologie. De aandacht die de EQTA bepleit voor maatschappelijke en ethische aspecten van quantumtechnologie is daarom ook een pleidooi voor een kritische analyse van de bestaande toepassingen van informatietechnologie.

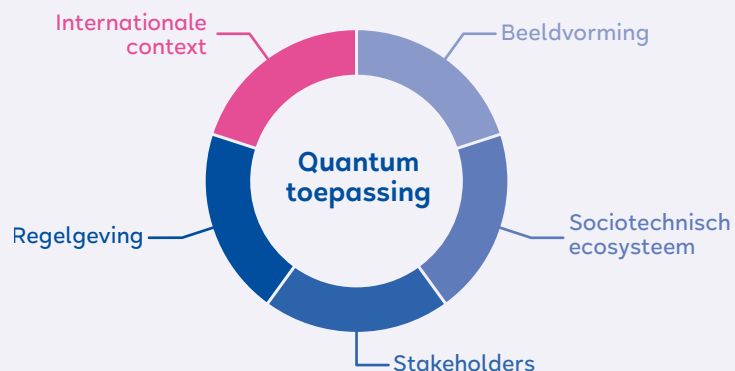
Als we een nieuwe systeemtechnologie op een verantwoorde en succesvolle manier willen inbedden in de samenleving, zijn er volgens de WRR vijf zaken van belang:

- Het tegengaan van onrealistische beeldvorming (demystificatie);
- Het creëren van een gunstig sociotechnisch ecosysteem (contextualisering);
- Het betrekken van belanghebbenden (engagement);
- Het opstellen van regel- en richtinggevend kaders (regulering);
- Het bewaken van internationale verhoudingen (positionering).

⁴ De WRR richt zich op zogenoemde 'systeemtechnologieën': technologieën met een brede en diepgaande – kortweg systemische – impact op de samenleving. Voorbeelden van dit soort systeemtechnologieën zijn elektriciteit, de verbrandingsmotor en de computer. Uit onze ervaringen met eerdere systeemtechnologieën trekt de WRR een aantal lessen voor onze omgang met nieuwe systeemtechnologieën, zoals artificiële intelligentie (AI). Ook in het geval van quantumtechnologie kunnen we leren van het verleden.

³ <https://www.wrr.nl/publicaties/rapporten/2021/11/11/opgave-ai-de-nieuwe-systeemtechnologie>

Maatschappelijke context



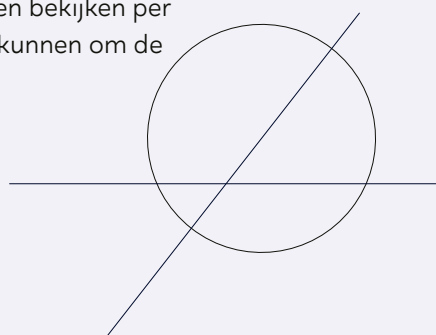
Figuur 01 Vijf aspecten van de maatschappelijke context van quantumtoepassingen

We kunnen deze maatschappelijke opgaven zien als vijf aspecten van de maatschappelijke context van quantumtoepassingen (zie figuur 1). Het is belangrijk dat organisaties die quantumtechnologie in de praktijk willen brengen zicht hebben op deze context, omdat het succes van een toepassing mede hierdoor wordt bepaald.

Aan de hand van de volgende vragen kunnen zij de maatschappelijke context in kaart brengen:

- Welke beelden leven er rondom quantumtechnologie?
- Wat zijn de sociale en technische voorwaarden voor succes?
- Op wie gaat de toepassing effect hebben?
- Welke kaders zijn er van toepassing?
- Wat is de internationale context?

Hieronder lichten we deze vragen uitgebreider toe en bekijken per opgave hoe organisaties hier zelf mee aan de slag kunnen om de maatschappelijke context vorm te geven.



Welke beelden leven er rondom quantumtechnologie?

Demystificatie gaat over de beeldvorming rondom een technologie. Vaak ontstaan er rondom een nieuwe systeemtechnologie ideeën over hoe de technologie werkt en wat die technologie kan. Die ideeën stroken echter niet altijd met de werkelijkheid. Dat kan problemen opleveren bij de toepassing van de technologie in de praktijk. “Te hooggespannen verwachtingen leiden tot desillusie en ondoordachte toepassingen, terwijl overtrokken angsten leiden tot afkeer van de technologie en het niet benutten van de kansen die ze biedt”, schrijven de samenstellers van het WRR-rapport.

Als we willen dat mensen openstaan voor een nieuwe technologie en kunnen nadenken over de kansen en negatieve effecten van toepassingen, is het dus zaak om de technologie te demystificeren. Dit betekent: de technologie ontdoen van mythen ten gunste van een realistische kijk op wat de technologie wel en niet kan.

Complex en veelbelovend

De combinatie van complexiteit en grote beloften maakt quantumtechnologie vatbaar voor mythevorming. Een voorbeeld van quantumtechnologie dat gemakkelijk onderwerp wordt van mythevorming is de quantumcomputer. Het idee leeft soms dat een quantumcomputer in alle opzichten superieur zou zijn aan een klassieke computer. Dat is onterecht: quantumcomputers beloven een voordeel voor een bepaald type problemen. Daarnaast is quantumtechnologie bij veel mensen nog onbekend en zal het tot op zekere hoogte nog heel lang onbegrijpelijk blijven – zelfs voor experts. Dat kan zich vertalen in een gebrek aan interesse en het uitblijven van een maatschappelijk debat over de kansen en negatieve effecten. Tegelijkertijd is het niet zo dat iedereen precies hoeft te weten hoe quantumtechnologie werkt. Het gaat erom dat de toepassing ervan niet wordt gehinderd door onrealistische beelden en dat mensen in staat zijn om mee te denken over de toepassingen.

Voor organisaties die zelf quantumtechnologie willen toepassen is het dus allereerst zinvol om na te gaan welke beelden er leven en hoe die van invloed kunnen zijn op de beoogde toepassing. Het is daarbij belangrijk om ook alert te zijn op de eigen (onbedoelde) bijdrage aan



beeldvorming, bijvoorbeeld door het gebruik van bepaalde woorden. Vervolgens is het van belang om na te denken over de vraag wie wat moet weten: welke (groepen) personen moeten kunnen meedenken over de beoogde toepassing en moeten dus over voldoende kennis beschikken? Afhankelijk van het antwoord daarop kunnen organisaties intern werken aan de benodigde kennis, of breder in de samenleving samen met andere actoren werken aan begrip.

Vraag 1

BEELDVORMING

Welke beelden leven er rondom quantumtechnologie?

Hulpvragen:

- Welke ideeën bestaan er binnen en buiten de organisatie over quantumtechnologie en hoe kan dat van invloed zijn op de beoogde toepassing?
- Welke groepen of personen moeten kunnen meedenken over de toepassing? En wat moeten zij daarvoor weten?

Wat zijn de sociale en technische voorwaarden voor succes?

Contextualisering richt zich op het creëren van een gunstig sociotechnisch ecosysteem. Dat wil zeggen: een omgeving waarin zowel sociale als technische factoren het functioneren van een technologie bevorderen. Zo is het nodig dat de mensen die met de technologie gaan werken daarvoor goed toegerust zijn en dat de processen binnen een organisatie aansluiten bij de nieuwe toepassing (de sociale voorwaarden).

Daarnaast is de aanwezigheid van ondersteunende technologieën en een goede infrastructuur cruciaal (de technische voorwaarden).

De WRR benadrukt daarom dat als we willen dat een technologie echt gaat werken in de praktijk, we niet alleen moeten kijken naar het functioneren van die technologie zelf, maar vooral ook naar de omgevingsfactoren die dat functioneren mogelijk maken. Als voorbeeld gebruikt de WRR de zelfrijdende auto: die komt in de praktijk pas tot zijn recht als de inzittenden in de auto en (auto's van de) medeweggebruikers er ook goed mee om kunnen gaan en de omgeving beter 'leesbaar' wordt voor de auto door slimme bewegwijzering.

Voorwaarden sociotechnisch ecosysteem

Dit soort sociale en technische factoren zijn ook cruciaal wanneer we het hebben over de maatschappelijke context van quantumtechnologie. Om quantumtechnologie in de praktijk te laten werken is ondersteunende hard- en software nodig. Het gaat dan bij quantumcomputers bijvoorbeeld om de beschikbaarheid van quantumchips, geschikte programmeertalen en de ontwikkeling van quantumalgoritmes voor het oplossen van bepaalde problemen. Experts⁵ verwachten dat quantumrekenkracht en simulatoren van quantumcomputers vooral beschikbaar zullen komen als clouddienst. Zo biedt Quantum-Inspire van Qu-Tech Delft quantumcomputers aan *as-a-service* (zie <https://www.quantum-inspire.com/>).

Succes in de praktijk zal in dat geval deels afhangen van de toegang tot die clouddiensten. Het scheppen van dit soort voorwaarden ligt lang niet altijd binnen het bereik van individuele organisaties, maar zij kunnen andere partijen erop aanspreken of ondersteuning bieden.

Bij de toepassing van quantumtechnologie is het dus van belang om te onderzoeken wat de sociale en technische voorwaarden zijn voor succes in de praktijk. Organisaties dienen zich daarbij allereerst af te vragen wat de quantumtoepassing vergt van de sociale omgeving: Wat moeten de mensen kunnen die ermee werken? Zijn er aanpassingen nodig in de manier van werken binnen de organisatie?

⁵ Hoofnagle, C., & Garfinkel, S. (2022). *Law and policy for the quantum age*. Cambridge University Press.

Daarnaast moet de technische omgeving worden gecheckt: Wat voor technisch ecosysteem veronderstelt de toepassing? Hoe kunnen we met aanpassingen aan de omgeving het functioneren van de toepassing verbeteren?

Vraag 2

SOCIOTECHNISCH ECOSYSTEEM

Wat zijn de sociale en technische voorwaarden voor succes?

Hulpvragen:

- Wat moeten de mensen die met de technologie werken kunnen (vaardigheden) en zijn er aanpassingen nodig in de manier van werken binnen de organisatie?
- Wat voor technisch ecosysteem veronderstelt de toepassing en hoe kunnen we met aanpassingen aan de omgeving het functioneren ervan verbeteren?

Op wie gaat de toepassing effect hebben?

Engagement gaat over het betrekken van belanghebbenden (stakeholders) tijdens de ontwikkeling van een technologie en bij het implementeren van en feedback verzamelen over die technologie. Om een technologie verantwoord en duurzaam in te bedden in de samenleving, zo redeneert de WRR, is het cruciaal om de technologie zagezegd te 'democratiseren'. Dit betekent dat verschillende groepen een stem moeten krijgen bij de vormgeving en evaluatie van een technologie. Vaak wordt de ontwikkeling van technologie namelijk gedomineerd door technische afwegingen en de belangen van de ontwikkelaar.

Door stakeholders te betrekken bij de ontwikkeling, implementatie en evaluatie van een technologie kan niet alleen beter worden geanticipeerd op mogelijke (ongewenste) effecten, maar wordt ook het maatschappelijk draagvlak vergroot.⁶

Verskillende perspectieven

Stakeholders maken onderdeel uit van de maatschappelijke context van quantumtechnologie. Het specialistische karakter van de technologie en de hoge kosten die eraan zijn verbonden, brengen het gevaar met zich mee dat de ontwikkeling van quantumtechnologie gaat toebehoren aan een kleine groep van specialisten. Als we de potentie van quantumtechnologie ten volle willen benutten en bovendien ongewenste effecten zoveel mogelijk willen voorkomen, is het van belang dat verschillende groepen kunnen meedenken over de kansen en negatieve effecten van quantumtechnologie. Dat kan bijvoorbeeld door verschillende perspectieven te verzamelen en belangen te betrekken bij de ontwikkeling, implementatie en evaluatie van een quantumtoepassing.⁷

Voor organisaties die zich een voorstelling willen maken van de maatschappelijke context waarin een quantumtoepassing terecht komt, is het dus zaak om na te gaan welke groepen hiervan de effecten zullen ondervinden. Op welke manier worden zij 'geraakt' door de beoogde toepassing? En hoe kunnen die groepen – op voorhand en structureel – worden betrokken, zodat er zicht ontstaat op de effecten van een quantumtoepassing?



⁶ Zie uitgebreid over het proactief anticiperen op de maatschappelijke impact van quantum: E. De Jong, *Own the Unknown: An Anticipatory Approach to Prepare Society for the Quantum Age*, Digital Society, Quantum-ELSPI TC, 1, <https://link.springer.com/article/10.1007/s44206-022-00020-4>.

⁷ Het toegankelijk maken van de technologie en vormen van is een belangrijk deel van de missie van Quantum Delta Nederland. Zie voor meer informatie [pagina 30: EQTA en Quantum Delta Nederland](#).

Vraag 3

STAKEHOLDERS

Op wie gaat de toepassing effect hebben?

Hulpvragen:

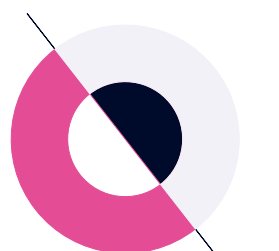
- Wie worden er op welke manier 'geraakt' door de beoogde toepassing?
- Hoe kunnen deze groepen betrokken worden bij de ontwikkeling, implementatie en evaluatie?

Welke regelgevende kaders zijn van toepassing?

Met regulering worden alle regel- en richtinggevende kaders bedoeld die de ruimte bepalen waarbinnen een technologie kan worden ontwikkeld en toegepast. Nieuwe technologieën komen doorgaans niet in een vacuüm terecht. Er bestaan vaak al allerlei kaders die (na aanpassing) van toepassing zijn. Soms schept een technologie echter situaties zonder precedent en klinkt de roep om nieuwe regels. Vaak weten we op dat moment niet wat voor regels er precies nodig zijn, omdat we nog weinig ervaring hebben met de technologie. In dat geval bieden volgens de WRR flexibele instrumenten uitkomst, zoals normen en standaarden. Regulering is dus een balans-act tussen het scheppen van ruimte en regels die de ontwikkeling en toepassing van een technologie inkaderen en richting geven.

Geldende spelregels

Regulerende kaders vormen een vierde aspect van de maatschappelijke context waarbinnen de toepassing van quantumtechnologie plaatsvindt.



Hoe quantumtechnologie zich verhoudt tot bestaande juridische kaders wordt besproken bij *Stap 3: Juridisch en ethisch kader*, zoals die op het gebied van intellectueel eigendom.⁸ Daarnaast wordt er gewerkt aan de ontwikkelingen van standaarden, bijvoorbeeld voor post-quantumcryptografie en cybersecurity. Zowel de huidige als de nieuw te ontwikkelen kaders zijn onderdeel van de maatschappelijke context. Hoe quantumtechnologie in de praktijk kan worden toegepast is immers deels afhankelijk van de geldende spelregels.

Het is daarom van belang om na te gaan hoe een beoogde toepassing zich verhoudt tot bestaande kaders. Welke regelgeving geldt er? Het antwoord op die vraag kan ook zijn dat adequate regelgeving op dit moment ontbreekt, waardoor zaken als rechtszekerheid in het geding komen en misstanden kunnen ontstaan. Een deel van de kaders waarmee organisaties bij het toepassen van technologie te maken krijgen zijn professionele kaders: juristen, accountants, artsen, ambtenaren of notarissen zijn bijvoorbeeld verplicht bepaalde verantwoordelijkheden te nemen die strijdig kunnen zijn met het toepassen van technologie, of die met hulp van technologie veel beter uitgevoerd kunnen worden.⁹

Om sommige toepassingen mogelijk te maken zijn nieuwe afspraken nodig en soms ook nieuwe instituten. Denk aan het inrichten van stelsels met nieuwe rollen, zoals die van een stelselautoriteit met als doel dat organisaties binnen geldende kaders gemakkelijk en betrouwbaar gevoelige data kunnen uitwisselen. Het ontwikkelen van de afspraken en het inrichten van dergelijke stelsels vergt nauwe samenwerking tussen organisaties, toezichhouders en beroepsorganisaties als auditors. Afhankelijk van het soort kaders dat nodig is kunnen organisaties die kaders zelf ontwikkelen of dit agenderen bij andere beroepsgroepen die betrokken zijn bij dit proces.

⁸ Zie wat betreft intellectueel eigendom: Aboy, M., Minssen, T. & Kop, M. Mapping the Patent Landscape of Quantum Technologies: Patenting Trends, Innovation and Policy Implications. IIC 53, 853–882 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40319-022-01209-3>.

⁹ Denk aan inmiddels in de vergetelheid rakende anachronismen als de eis van een 'natte' handtekening onder een contract, of de eis van fysieke aanwezigheid van een persoon om de identiteit vast te stellen (lieftst met een 'kopietje paspoort' als bewijs), terwijl de persoon beschikt over een betrouwbaar digitaal identiteitsbewijs waarmee de eigen identiteit kan worden aangetoond.

Een belangrijk thema dat in stap 2 terugkomt is standaardisatie: om in de toekomst over te kunnen stappen naar andere leveranciers of dienstverleners zonder hoge kosten zoals herinvesteringen, is het belangrijk dat organisaties die technologie gebruiken tijdig kwalitatief hoogwaardige standaarden ontwikkelen samen met de aanbieders, die kunnen anticiperen op toekomstige ontwikkelingen en een breed draagvlak hebben.

Vraag 4

REGELGEVING

Welke kaders zijn van toepassing? (zie ook stap 3)

Hulpvragen:

- Welke regelgeving geldt er voor de beoogde toepassing?
- Zijn er lacunes die vragen om nieuwe of aangepaste kaders?

Wat is de internationale context?

Positionering gaat over de verhoudingen op het internationale toneel. De WRR laat zien dat de ontwikkeling van een nieuwe systeem-technologie vaak wordt *geframed* als een internationale race. Dat frame is echter simplistisch en misleidend, omdat het impliceert dat er één winnaar is. In werkelijkheid, zo stelt de WRR, is de winst van de één niet per se het verlies van de ander. Wel is het van belang om strategisch na te denken over de eigen internationale positie ten opzichte van andere actoren, zeker als het gaat om het concurrentievermogen en de veiligheidskwesaties ten aanzien van een technologie.

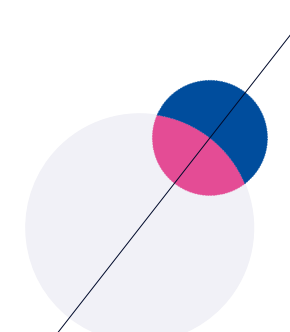
Hoewel beeldvorming, het sociotechnisch ecosysteem, stakeholders en regelgeving allemaal een internationale dimensie hebben, is de internationale context ook een aspect dat op zichzelf staat en aandacht verdient. Door het specialistische karakter is de onderzoeksgemeenschap van quantumtechnologie sterk internationaal vervlochten: experts uit allerlei landen bundelen hun krachten om doorbraken te realiseren. Bovendien is de ontwikkeling van quantumtechnologie zeer kostbaar, waardoor op dit moment wereldwijd slechts een klein aantal spelers een dominante rol vervullen in het veld. Alleen al om die redenen heeft de toepassing van quantumtechnologie haast altijd een internationale component.

Internationaal speelveld: soevereiniteit

Voor de analyse van de maatschappelijke context is het daarom niet alleen belangrijk om oog te hebben voor de internationale dimensie van de eerder besproken aspecten, maar ook om expliciet stil te staan bij het internationale speelveld waarin een organisatie zich begeeft. Die dimensie staat steeds vaker in het teken van soevereiniteit: de geopolitieke (technologische) zelfbeschikking van (groepen) landen, zoals Nederland, de EU, et cetera. Uit die wens tot zelfbeschikking volgen wellicht export- en importrestricties, geopolitieke beperkingen om met mensen en organisaties uit sommige landen buiten Europa te werken en beperkingen op buitenlandse belangen in eigendom van een bedrijf.

De aandacht en wens tot soevereiniteit staat soms op gespannen voet met de internationale verwevenheid van de onderzoeksgemeenschap.

Vragen die in deze context aan de orde komen zijn: welke spelers zijn er betrokken bij de beoogde toepassing en welke afhankelijkheden kunnen er ontstaan? Hebben buitenlandse actoren toegang tot de toepassing en welke implicaties kan dat hebben?



Vraag 5

INTERNATIONALE CONTEXT

Wat is de internationale context?

Hulpvragen:

- Welke internationale actoren zijn er betrokken bij de beoogde toepassing? Welke afhankelijkheden kunnen er ontstaan?
- Hebben buitenlandse actoren toegang tot de toepassing? Welke implicaties kan dat hebben?

Stap 2: Technologisch kader

Om de impact van een techniektoepassing op mens en samenleving in kaart te kunnen brengen, is het van belang om de meer generieke eisen aan de techniek te beschrijven.

Quantumtechnologie wordt onderdeel van toepassingen waar data een centrale rol spelen. Dat betekent dat er generieke eisen gesteld moeten worden aan de functionaliteit, betrouwbaarheid en kwaliteit van de technologie. Er zijn eisen aan de interoperabiliteit met andere technologie, aan de manier waarop de techniek omgaat met data (identiteit, authenticatie en autorisatie en controle over data) en aan hoe invulling wordt gegeven aan de waarden rond die omgang met data (bijvoorbeeld het voorkomen van monopolieposities rond data).

Vraag 6

KWALITEITSEISEN

Welke kwaliteitseisen moeten aan de technologie gesteld worden om de beschreven doelen en voordelen te bereiken?

Denk hierbij aan functionaliteitseisen: Wat kan de technologie? Welke functies biedt de technologie? Maar ook aan andere eisen als robuustheid tegen fouten, het kunnen analyseren en herstellen van fouten, het beveiligen van systemen, flexibiliteitseisen en eisen aan de beheersbaarheid en de mogelijkheden voor integratie met andere technologie. Ook duurzaamheid (zoals herkomst en hergebruik van grondstoffen en energieverbruik) speelt hierbij een rol. Kijk naar [ISO 25010](#) voor inspiratie om tot een volledige eisenlijst te komen.¹⁰ Deze kwaliteitsvraagstukken worden meestal beantwoord door certificeringen te vragen van de leverancier.

Vraag 7

TECHNISCHE RANDVOORWAARDEN

Welke technische eisen moeten worden gesteld in relatie tot privacy, veiligheid, data, identiteit, authenticatie en autorisatie?

¹⁰ Dit zijn voorbeelden van eisen, ontleend aan ISO 25010, een gangbaar kader om de (eisen aan) kwaliteit van software en systemen te inventariseren en te beschrijven. Zie: https://nl.wikipedia.org/wiki/ISO_25010.

“Quantumtechnologie wordt onderdeel van toepassingen waar data een centrale rol spelen. Dat betekent dat er generieke eisen gesteld moeten worden aan de functionaliteit, betrouwbaarheid en kwaliteit van de technologie.”

Bij deze punten komen vragen aan de orde als:

- Welke (technische) principes moeten worden gebruikt om de privacy te beschermen en betrokkenen de juiste mogelijkheden voor toestemming en controle te bieden?
- Welke authenticatie- en autorisatiemechanismen zijn nodig om de vele betrokkenen controle te geven over het verzamelen en het gebruik van data?
- Hoe wordt de betrouwbaarheid en veiligheid van data gewaarborgd? De sterke rekenkracht van quantumcomputing zal immers veel data vergen waarbij partijen data aan elkaar ter beschikking moeten stellen. Er moeten keuzes gemaakt worden welke data in het coöperatieve domein vallen en welke in het competitieve en welke data vertrouwelijk zijn en welke open. Aansluiting bij of ontwikkeling van beheerorganisaties die een rol spelen bij het waarborgen van de veiligheid, privacy en kwaliteit van data is wellicht nodig.
- Hoe kunnen de risico's van de toenemende verwevenheid en afhankelijkheid van derden bij het toepassen van quantumtechnologie worden beheerst? Om de risico's die gepaard gaan met de technische verwevenheid en afhankelijkheid te beheersen, zijn vormen van sturing nodig, gebaseerd op inzage in de risico's, maatregelen en de effectiviteit daarvan.

Aandachtspunt: belangrijke delen van deze generieke eisen aan technologie en hoe technologie met data, veiligheid en privacy omgaat, worden de volgende jaren afgedwongen door Europese wetgeving. Er is dus een sterke relatie met Stap 3: de juridische kaders. Denk aan de Cybersecurity Act, de Data Governance Act, de AI Act en de General Data Protection Regulation. De implementatie van deze wetten vergt vaak samenwerking en fundamentele technische keuzes.

Voorbeelden technische randvoorwaarden privacy, veiligheid en betrouwbaarheid

Data

Om de kansen van quantumtechnologie te kunnen benutten zijn data nodig. In Europa wordt gewerkt aan generieke principes en architecturen die ten doel hebben samen te werken op het gebied van data: denk aan IDS (International Dataspaces)¹¹, Cathena-X¹² en Gaia-X¹³. Nederland host twee succesvolle voorbeelden van deze inspanningen: SCSN (het Smart Connected Supply Network) dat de (vertrouwelijke) informatie-uitwisseling faciliteert in het grote wereldwijde ecosysteem rond Brainport, Eindhoven¹⁴ en Ishare¹⁵ dat al vele jaren de intensieve data-uitwisseling in de logistieke sector faciliteert.

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat werkt met partijen aan een ecosysteem rond mobiliteitsdata,¹⁶ gebaseerd op deze principes. Vergelijkbare initiatieven zijn er in het domein van landbouw, zorg en energie.

¹¹ <https://internationaldataspaces.org/>

¹² <https://catena-x.net/en/>

¹³ <https://gaia-x.eu/>

¹⁴ <https://smart-connected.nl/nl>

¹⁵ <https://ishare.eu/nl/>

¹⁶ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/mobiliteit-nu-en-in-de-toekomst/mobility-as-a-service-maas>

Identiteit

Op andere deelonderwerpen rond de toepassing van quantum-technologie, zoals identiteitsoplossingen zodat ook op een verantwoorde manier met persoonlijke data kan worden gewerkt, zijn randvoorwaarden in de maak. Denk aan de komende Europese e-wallet en de principes van Self Sovereign Identity.¹⁷

Informatieveiligheid en continuïteit

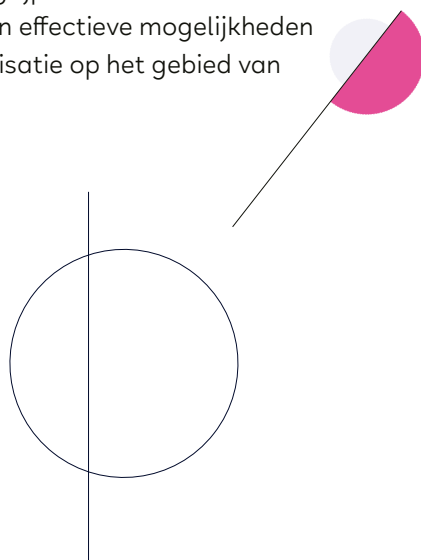
Quantumtechnologie zal vaak als service worden afgenomen. En die services draaien op software die continu wordt ontwikkeld en verbeterd, door talrijke partijen. Data zullen worden verzameld en gedeeld door veel partijen. Het gevolg hiervan is toenemende technische verwevenheid en onderlinge afhankelijk van partijen. Dat vergt gerichte actie om risico's rond informatieveiligheid en continuïteit te beheersen. De financiële sector loopt hierin (begrijpelijkwijs) voorop, waar partijen systematisch informatie uitwisselen over risico's, maatregelen en de effectiviteit daarvan op basis van de International Standards for Assurance Engagements (ISAE). In Nederland werken partijen samen in de Online Trust Coalitie met als doel deze principes toe te passen om risico's rond informatieveiligheid en continuïteit in complexe netwerken te beheersen.¹⁸

Interoperabiliteit van data

Tot slot wordt op het deelonderwerp interoperabiliteit van data gewerkt aan de FAIR-principes (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Het automatisch kunnen begrijpen en combineren van data uit zoveel verschillende bronnen én effectieve mogelijkheden voor controle, veronderstelt standaardisatie op het gebied van data-interoperabiliteit.

¹⁷ <https://www.rvig.nl/self-sovereign-identity>

¹⁸ <https://onlinetrustcoalitie.nl>



Vraag 8

TOEKOMSTVASTHEID

Welke randvoorwaarden moeten aan quantumtechnologie worden gesteld om toekomstvastheid van investeringen en toekomstige keuzevrijheid van de organisatie te waarborgen?

Toekomstvastheid van investeringen en toekomstige keuzevrijheid van de organisatie

Bij nieuwe technologie is er altijd een fase waarin sommige partijen de markt domineren, omdat ze de eerste zijn die een toepassing op de markt kunnen brengen. Een belangrijke vraag die een organisatie zich dan moet stellen is: Wanneer stap je in? Een belangrijke overweging kan de toekomstvastheid van investeringen zijn en de kans op vendor lock-in en daarmee de vrijheid dat de organisatie in de toekomst zelf technische keuzes kan blijven maken.

Veel nieuwe technologie hanteert immers 'proprietary' standaarden, eigendom van een specifieke technologie-ontwikkelaar, die het moeilijk maken om naar technologie van andere leveranciers over te stappen of te integreren. Gebruikers van technologie moeten daarom al in een vroeg stadium samenwerking zoeken met andere gebruikers en leveranciers om tot open standaarden te komen voor quantum-toepassingen. NEN, Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut¹⁹, is betrokken bij veel van deze internationale standaardisatietrajecten. NEN kan initiatief nemen voor nieuwe trajecten (onder een aantal voorwaarden) en kan een rol spelen bij het leggen van contacten met standaardisatiecommissies. Techniekleveranciers werken vaak mee aan standaardisatie om te zorgen dat de standaard toekomstige ontwikkelingen mogelijk maakt en past bij hun oplossingsrichting. Ook geeft het bestaan van standaarden vertrouwen aan afnemers dat een oplossing volwassen is.

¹⁹ <https://www.nen.nl>

Vertrouwen leidt tot vraag en is daarmee goed voor de technologie-ontwikkeling. Bovendien biedt het bestaan van standaarden bedenkers van innovaties de kans om snel tot een bestaande markt toe te treden.

Stap 3: Juridisch en ethisch kader

Juridisch kader

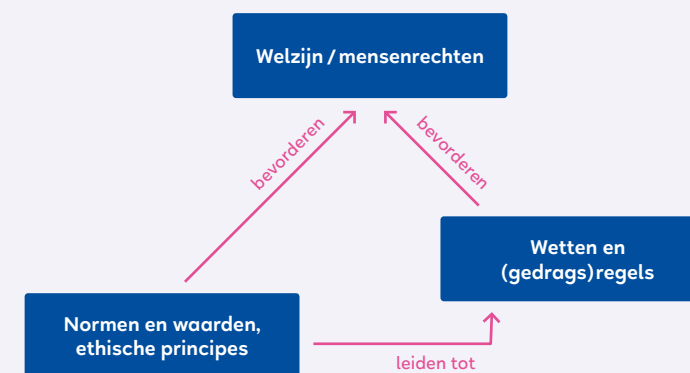
Voor de inzet van quantumtechnologie moeten ook de juridische kaders waarbinnen een toepassing functioneert in ogenschouw worden genomen. Juridische en ethische kaders gaan hand in hand.²⁰ Wetgeving is soms ‘gestolde ethiek’, wanneer normen, waarden en ethische principes worden omgezet in wetten en (gedrags)regels. Het juridische kader biedt dan een context voor het maken van ethische afwegingen.

Ethische afwegingen kunnen echter ook een opzichzelfstaande reden hebben, los van de vraag of er ooit wettelijke kaders zullen ontstaan. Denk aan keuzes rond duurzaamheid of de arbeidsvoorwaarden voor personeel. Een organisatie kan kiezen zich te committeren aan specifieke ethische doelen, ook als dat geen wettelijke basis heeft, en daar verantwoording over afleggen. Veel organisaties nemen de SDG (Sustainable Development Goals) als leidraad voor hun ethische keuzes en geven in hun jaarverslag ook rekenschap van de plannen en vorderingen op dit gebied.

Het maken van ethische afwegingen is ook noodzakelijk als de wetgeving ontoereikend is. Bij nieuwe technologieën loopt wetgeving vaak achter, of moet bestaande wetgeving opnieuw tegen het licht worden gehouden.

²⁰ Zie bijvoorbeeld: M. Kop, *Establishing a Legal-Ethical Framework for QT*, Yale J.L. & Tech. The Record (2021). <https://yjolt.org/blog/establishing-legal-ethical-framework-quantum-technology>.

Ethically aligned design



Figuur 02 De relatie tussen normen en waarden, wet- en regelgeving en welzijn/mensenrechten (IEEE, 2017).²¹

Juridische kaders stellen grenzen. Bij het maken van een afweging over de inzet van technologie zijn er altijd wetten en regels die nageleefd moeten worden. Juridische kaders bakenen de bewegingsruimte af. Daarom is het relevant om naast ethische kaders, expliciet stil te staan bij juridische kaders. We onderscheiden algemene wetten en regels die voor alle sectoren en toepassingsgebieden kunnen gelden. Daarnaast is er technologiespecifieke wetgeving om rekening mee te houden. Tot slot is er wetgeving die sectorspecifiek is. Het overzicht dat hier geboden wordt is lang, maar niet uitputtend. Het geeft een eerste richting bij het in kaart brengen van relevante wet- en regelgeving.



²¹ <https://ethicsinaction.ieee.org/> figuur ontleend aan <https://ethicsinaction.ieee.org/wp-content/uploads/eadie.pdf>.

Bij algemene juridische kaders gaat het om wetten en regels die ongeacht de toepassing of de sector van toepassing kunnen zijn. Denk bijvoorbeeld aan mensenrechten, fundamentele vrijheden en economische of sociale rechten, het civiel recht, strafrecht, bestuursrecht of fiscaal recht. We noemen er hier een aantal.

Mensenrechten

De termen grondrechten, fundamentele rechten of mensenrechten worden vaak door elkaar heen gebruikt. Het zijn rechtsnormen met als doel burgers te verzekeren van persoonlijke vrijheden en een menswaardig bestaan. Het gaat om rechten die voor alle mensen gelden, ongeacht de nationaliteit van de burger. Er zijn verschillende nationale en internationale bronnen voor dit type rechten, zoals:

- Internationaal Verdrag inzake Burgerrechten en Politieke Rechten (IVBPR);
- Europees Verdrag voor de Rechten van de Mens (EVRM);
- Handvest Grondrechten EU;
- Internationaal Verdrag inzake Economische, Sociale en Culturele rechten (IVESC);
- Grondwet.

Algemene verordening gegevensbescherming (AVG)

De AVG is de Nederlandse implementatie van de Europese verordening General Data Protection Regulation (GDPR). De AVG bevat specifieke regels voor de verwerking van persoonsgegevens door bedrijven en de overheid. De implementatie van de AVG heeft onder meer gezorgd voor een versterking en uitbreiding van privacy-rechten. Ook hebben organisaties op dit vlak meer verantwoordelijkheid gekregen. Daarnaast is er een aparte richtlijn voor gegevensbescherming bij politie en justitie. Het gaat hier om de Wet politiegegevens (Wpg) en de Wet justitiële en strafvorderlijke gegevens (Wjsg).

Algemene wet bestuursrecht en Algemene beginselen behoorlijk bestuur

Voor overheidsorganen geldt dat zij zich tegenover burgers en bedrijven moeten houden aan gedragsregels. Een deel van deze regels staat in de Algemene wet bestuursrecht (Awb), maar er is ook sprake van zogenaamd 'ongeschreven recht'. Dit ongeschreven recht wordt de Algemene beginselen van behoorlijk bestuur (Abbb) genoemd.

Intellectueel eigendom en patenten

De recente technische ontwikkelingen en geopolitieke spanningen leiden tot volle aandacht voor het onderwerp intellectueel eigendom en patenten. Zie voor analyse van het thema in het kader van quantumtechnologie deze voetnoot.²²

Specifieke wetgeving voor quantumtechnologie

Op dit moment is er (nog) geen wetgeving die specifiek de maatschappelijke kansen en het voorkomen van negatieve effecten van de inzet van quantumtechnologie regelt. Het is hierbij belangrijk om vast te stellen of de quantumtoepassing op zichzelf staat of gebruikt wordt in combinatie met of ten behoeve van andere technologieën, zoals bijvoorbeeld kunstmatige intelligentie (AI) of biotechnologie.

Rondom de inzet van AI en data zijn er al wel specifieke regels, zoals bijvoorbeeld in de AVG. Ook wordt er in Brussel door de Europese Unie momenteel gewerkt aan de Europese AI Act. De voorgestelde wet verdeelt AI-systemen, producten en diensten over vier risicocategorieën. De eerste categorie is verboden toepassingen, zoals bijvoorbeeld door de overheid beheerde *social scoring*-systemen. In de tweede risicocategorie worden *high risk*-toepassingen benoemd, zoals bijvoorbeeld HR-systemen. Dit type systemen worden onderworpen aan specifieke wettelijke vereisten.

²² Abov, M., Minssen, T. & Kop, M. *Mapping the Patent Landscape of Quantum Technologies: Patenting Trends, Innovation and Policy Implications*. IIC 53, 853-882 (2022). <https://link.springer.com/article/10.1007/s40319-022-01209-3>.

Verder zijn er nog twee groepen toepassingen die niet expliciet worden gecategoriseerd als ‘verboden’ of ‘hoog risico’, te weten *Limited Risk*, en *Minimal Risk*. Naarmate het risico van de AI-toepassing stijgt, worden de wettelijke vereisten strenger, of geldt er een verbod.²³ Een belangrijk instrument om *regulatory conformity* (de wettelijke conformiteit) van risicovolle systemen te waarborgen, is de CE-markering. Deze certificering is vereist voorafgaand aan de marktintroductie van AI-toepassingen.

De EU en de VS

Waar Brussel het voortouw heeft genomen met de regulering van AI binnen Europa, heeft Washington in mei 2021 quantumspecifieke regulering aangenomen voor de Verenigde Staten in vorm van twee Directives.²⁴ Ook is er in mei dit jaar een ‘national security memorandum’ uitgegeven door de Biden Administration (het kabinet-Biden). Hiermee wil de VS enerzijds eigen marktleiderschap rondom quantumtechnologie beter faciliteren door innovatie te stimuleren. Anderzijds wil het voorkomen dat de technologie in verkeerde handen terecht komt en daarmee een bedreiging vormt voor de economische stabiliteit en de nationale veiligheid.

Een onderdeel van het national security memorandum is dat er exportcontroles worden ingesteld voor bepaalde quantumtechnologieën. Ook beoogt de richtlijn diefstal van intellectueel eigendom (‘IP theft’) te voorkomen en risico’s over cybercrime te adresseren en te verkleinen.

Omdat de meeste quantumtechnologieën *dual use*-applicaties zijn — dit betekent dat de applicaties zowel voor civiele als militaire doeleinden kunnen worden gebruikt, zoals ook bij nucleaire toepassingen het geval is (medische isotopen versus de

atoombom) — is de *risk based*-benadering van de AI Act goed bruikbaar voor de regulering van quantumtechnologie. De unieke eigenschappen van quantum vereisen daarnaast een maatwerkbenadering. De verwachting is dan ook dat de Europese Unie binnen enkele jaren wetgeving zal voorstellen die specifiek is gericht op quantumtechnologie: denk aan een Quantum Governance Act.²⁵

Het is ook voorstelbaar dat er een internationaal verdrag komt in de vorm van een Quantum Treaty. De verwachting is dat standaardisering, certificering en *lifecycle auditing* door middel van bindende Exploratory Quantum Technology Assessments hierin een belangrijke rol gaan spelen. Vanwege de huidige geopolitieke situatie is het daarnaast goed mogelijk dat ook de EU exportcontroles zal uitvaardigen. Dit zal onderzoek naar en handel in quantumtechnologie en materialen en de fragiele supply chain van software- en hardware-structuren direct raken. Tenslotte is de verwachting dat er harde eisen aan de financiering van quantum-R&D zullen worden gesteld.

Proactief anticiperen

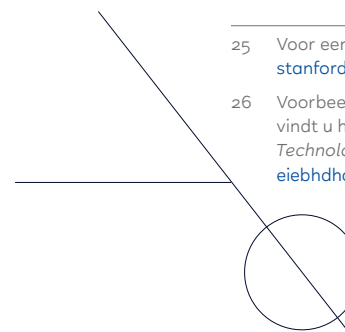
Wat betekent dit alles voor de gebruikers van de Exploratory Quantum Technology Assessment (EQTA)? Het is belangrijk dat u zich bewust bent van de juridische, ethische, sociale, en beleidsaspecten van quantumtechnologie. Dit wordt ook wel afgekort met Quantum-ELSPI (waarbij ELSPI staat voor Ethical, Legal, Social and Policy Implications).²⁶ Zo kan de EQTA-tool worden gebruikt om de geldende — en toekomstige — juridische vereisten voor het gebruik van quantumtechnologie in kaart te brengen en zo proactief te anticiperen. Dit geldt niet alleen voor de wettelijke naleving, maar ook voor de kansen en verantwoordelijkheden (rechten en plichten) op het gebied van intellectueel eigendom.

23 Voor meer informatie over de EU AI Act, zie: Mauritz Kop, *EU Artificial Intelligence Act: The European Approach to AI, Transatlantic Antitrust and IPR Developments* (2021), <https://law.stanford.edu/publications/eu-artificial-intelligence-act-the-european-approach-to-ai/>.

24 FACT SHEET: *President Biden Announces Two Presidential Directives Advancing QT*, White House (May 4, 2021), <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/05/04/fact-sheet-president-biden-announces-two-presidential-directives-advancing-quantum-technologies/>.

25 Voor een trans-Atlantisch perspectief, zie: *Regulating Quantum Technology*, <https://law.stanford.edu/projects/regulating-quantum-technology/>.

26 Voorbeelden van Quantum-ELSPI vragen die relevant zijn tijdens het gebruik van de EQTA vindt u hier: *Quantum ELSPI: Ethical, Legal, Social and Policy Implications of Quantum Technology*, Digital Society (Springer Nature) 2021, <https://link.springer.com/collections/eiebhdhagd>.



Sector- en industrie-specifieke kaders

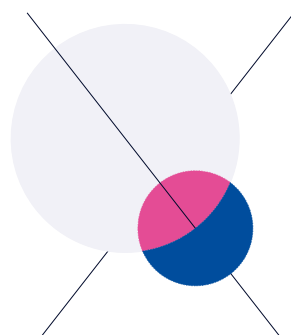
Tot slot zijn er specifieke kaders voor sectoren die belangrijk zijn om op de radar te houden. Denk bijvoorbeeld aan:

- Wetgeving in de financiële sector, bijvoorbeeld de Wet financieel toezicht (Wft) en de Wet ter voorkoming witwassen en financiering van terrorisme (Wwft).
- Wetgeving op het gebied van telecommunicatie (de Telecommunicatiewet).
- Wetgeving voor patiëntrechten binnen de zorg, bijvoorbeeld de Wet op de geneeskundige behandelingsovereenkomst (WGBO).
- Wetgeving voor medische hulpmiddelen in de zorg (Medical Device Regulation).

Daarnaast zijn er nog (internationale) wetten en regels op het gebied van productveiligheid die relevant kunnen zijn bij de inzet van quantumtoepassingen. Denk bijvoorbeeld aan de Product Safety Directive en de Machinery Regulation.

Medische quantumtoepassingen

Een recent voorbeeld dat illustreert hoe divers de juridische impact is van het toepassen van quantumtechnologie, is het in Europa op de markt gebracht 'quantum-infused medical device'. Hierin hebben overigens AI/Machine Learning en klassieke data eveneens een functie. Vanuit juridische oogpunt is dit te kwalificeren als een quantum/AI hybrid. Dat betekent dat naast de algemene juridische kaders, de diverse technologiespecifieke kaders (voor zowel AI, data als quantum) van toepassing zijn. Daarbij komen de verticale, sectorspecifieke kaders (in dit geval Healthcare/Gezondheidszorg).



Zodra de Europese wetten zijn aangenomen, betekent dit dat op deze medische apparaten in ieder geval van toepassing zijn:

- De EU AI Act;
- De Quantum Governance Act;
- De waaier aan wetten die samen de Europese Strategie voor Data vormen (GDPR, FFD, Data Act, Data Governance Act, et cetera);
- De Medical Device Regulation;
- De Database Directive;
- Relevante IP Directives;
- Mogelijk bepaalde exportcontroles zoals in het Wassenaar Arrangement beschreven ...
- ...en hun Nederlandse evenknie.

Let op: gaat u zakendoen in bijvoorbeeld de VS of Azië, dan zijn de lokale wetten daar van toepassing.



Daarnaast kan de EQTA door een multidisciplinair team worden gebruikt om te bekijken welke intellectuele eigendomsrechten er ontstaan en moeten worden geregistreerd, zoals patenten, copyrights, en trade secrets (fabrieksgeheimen). En — indien van toepassing — kan er ook worden bekeken hoe de overeenkomst inzake technologieoverdracht met universiteiten is vormgegeven. Door het patentportfolio te optimaliseren wordt de waarde van medische apparatuur vergroot. Bovendien kan met behulp van handhaving namaak worden beperkt. Wordt er Intellectueel Eigendom van derden gebruikt in medische apparatuur, dan volgt er uit de EQTA-rapportage dat hiervoor licenties moeten worden afgesloten, om inbreuk op *third party IP* te voorkomen. U gebruikt de EQTA als leidraad om bovenstaande zaken in kaart te brengen, zodat er intern en extern meer bewustwording wordt gecreëerd over het juridisch kader.

Spanningsveld: veiligheid versus vertrouwelijkheid

In de context van quantumtechnologie is het relevant om het spanningsveld tussen de waarden veiligheid en privacy uit te lichten. Dit spanningsveld komt mogelijk sterk naar voren bij de ontwikkeling van toepassingen op het gebied van quantumcommunicatie en het aanstaande quantuminternet. De Wet op de inlichtingen- en veiligheidsdiensten (Wiv) en de discussies daaromheen, alsook het aannemen van de Wet beveiliging netwerk- en informatiesystemen (ook bekend als de Cybersecuritywet), Computercriminaliteit III en het standpunt van de Artikel 29 Werkgroep met betrekking tot encryptie, tonen aan dat veiligheid van internet, communicatie en informatie een zeer actueel en beladen onderwerp is. Hierbij spelen meerdere belangen een rol. Dit is bij de mogelijke inzet van quantumnetwerken niet anders.

Eenzijds is het belangrijk dat gevoelige informatie en communicatie van zowel overheden als burgers veilig en vertrouwelijk is, anderzijds is het voor de nationale veiligheid of de opsporing en vervolging van strafbare feiten in sommige gevallen wenselijk of zelfs noodzakelijk om bepaalde informatie en communicatie te kunnen onderscheppen.

Passende maatregelen

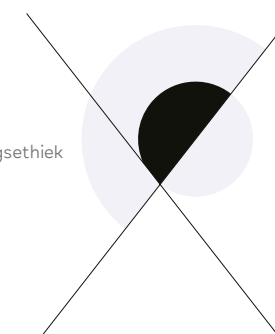
Het maatschappelijke debat over de Wiv, de uitkomst van het referendum over de Wiv en het toenemende gebruik door burgers van beveiligde VPN-verbindingen die gebruik maken van encryptie, laat zien dat men steeds meer bezig is met de veiligheid en vertrouwelijkheid van communicatie. Ook verplicht wetgeving als de Wet beveiliging netwerk- en informatiesystemen en de Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG) tot het bieden van passende maatregelen om netwerken en gegevens te beveiligen. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan encryptie. Daar staat tegenover dat aanbieders van openbare telecommunicatienetwerken en openbare telecommunicatiediensten hun netwerken en diensten uitsluitend beschikbaar stellen aan gebruikers als deze aftapbaar zijn op grond van Hoofdstuk 13 van de Telecommunicatiewet. Een niet te hacken vorm van internet lijkt in het kader van het ene stuk wetgeving dus ideaal, terwijl het binnen het kader van andere wetgeving wellicht niet wenselijk is.

Ethisch kader

Ethiek is een filosofische discipline die zich bezighoudt met de studie van 'juist handelen'. Ethiek biedt geen checklist wat goed en fout is, maar geeft methodieken om tot een oordeel te komen over wat goed en fout is. Een belangrijk doel van een ethische afweging is te zorgen dat de uiteindelijke quantumtoepassing in lijn is met de geldende maatschappelijke opvattingen over wat ethisch is. Het doel van deze Exploratory Quantum Technology Assessment (EQTA) hierbij is niet om te vertellen wat wel en niet verantwoord is. Het is aan de gebruiker zelf om hierin een afweging te maken. De EQTA biedt wel handvatten om tot zo'n afweging te komen.

Digitalisering en nieuwe technologieën, zoals bijvoorbeeld quantumtechnologie, Artificial Intelligence en cloud computing, roepen ethische vragen op.²⁷ Ze hebben vaak de vorm van een vraag. Bijvoorbeeld: Is het aanvaardbaar om deze technologie in te zetten? Ethische kaders zijn gerelateerd aan juridische kaders. Wetten en regels geven context aan de bewegingsruimte die men heeft bij de inzet van technologie. Ze staan echter niet los van ethiek. Maatschappelijke waarden vertalen zich in de maatschappij naar normen, wetten en regels. Geldende normen en waarden kunnen dus leiden tot wetten en (gedrags)regels. We behandelen juridische en ethische kaders hier afzonderlijk, omdat de kaders een andere dynamiek hebben voor de gebruiker. Bij het juridische kader is de wet of de regel het startpunt van de toetsing aan de gewenste quantumtoepassing. In het ethische kader zijn maatschappelijke waarden het startpunt. Over de juridische kaders las u in de vorige paragrafen al meer. Het vormen van wetten en regels kost tijd, en loopt daarmee achter op de snelle technische ontwikkelingen. Hierdoor geeft het juridisch kader vaak nog onvoldoende houvast en kan een ethische afweging zinvol zijn.

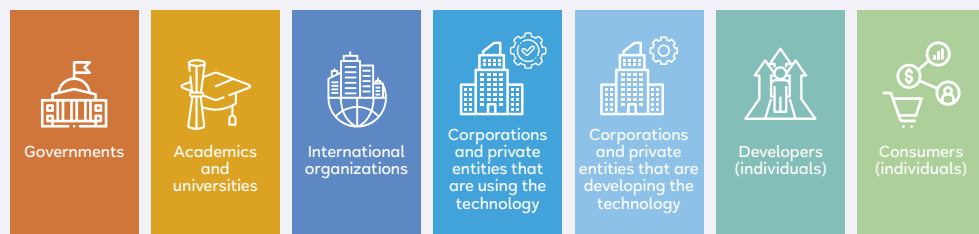
²⁷ Informatie over de Aanpak en bijbehorende handleiding Aanpak Begeleidingsethiek van ECP is te vinden op <https://begeleidingsethiek.nl/>.



The Quantum Computing Governance Principles

Het World Economic Forum (WEF) biedt een handvat om de vertaling van ethische aandachtspunten in het kader van quantumcomputing naar sturing (governance) te analyseren en vervolgens in te richten: The Quantum Computing Governance Principles (2022).²⁸ Dit geldt dus alleen voor quantumcomputing en niet voor de hele familie van quantumtechnologie.

Quantum computing stakeholders



Figuur 03 Quantum computing stakeholders (Bron: World Economic Forum)

Om impactgebieden vast te kunnen stellen brengt het WEF allereerst belangrijke stakeholders in kaart op basis van hun belangen. Hieronder ziet u een voorbeeld van verschillende groepen belanghebbenden bij de implementatie van een technologie.

Vervolgens worden de belangrijkste kernwaarden en thema's benoemd. Binnen elk thema zijn doelstellingen, kansen en negatieve effecten vastgesteld die samen de basis vormen voor de formulering van de beginselen en de bijbehorende acties.

Kernwaarden

In het WEF-rapport onderscheiden de samenstellers enkele kernwaarden die wat hen betreft de basis zouden moeten vormen bij de ontwikkeling van quantumtechnologie. Het WEF stelt dat het belangrijk is voor de stakeholders om deze kernwaarden in acht te nemen bij de ontwikkeling van een toepassing.²⁹ Hieronder sommen we de belangrijkste kernwaarden op uit het rapport van het World Economic Forum (WEF).

Bijdrage aan algemeen welzijn (Common Good)

Maak een analyse van de manier waarop de beoogde toepassing van quantumtechnologie een bijdrage kan leveren aan het welzijn in de samenleving. De toepassing moet zodanig worden benut dat de mensheid er baat bij heeft.

Verantwoordingsplicht (Accountability)

De toepassing moet zodanig worden vormgegeven en geïmplementeerd, dat een organisatie verantwoording kan afleggen over de gevolgen en de organisatie in staat is om die gevolgen te beheersen. Dit betekent de negatieve effecten beperken en de kansen versterken. Het gaat niet alleen om het ontwerp van de technologie, maar ook om het gebruik en de resultaten ervan. De andere kant van deze plicht is dat de samenleving instituties heeft ingericht die sancties opleggen aan organisaties die deze verantwoordingsplicht ontlopen of het nalaten maatregelen te nemen als de gevolgen negatief zijn.

Inclusiviteit (Inclusivity)

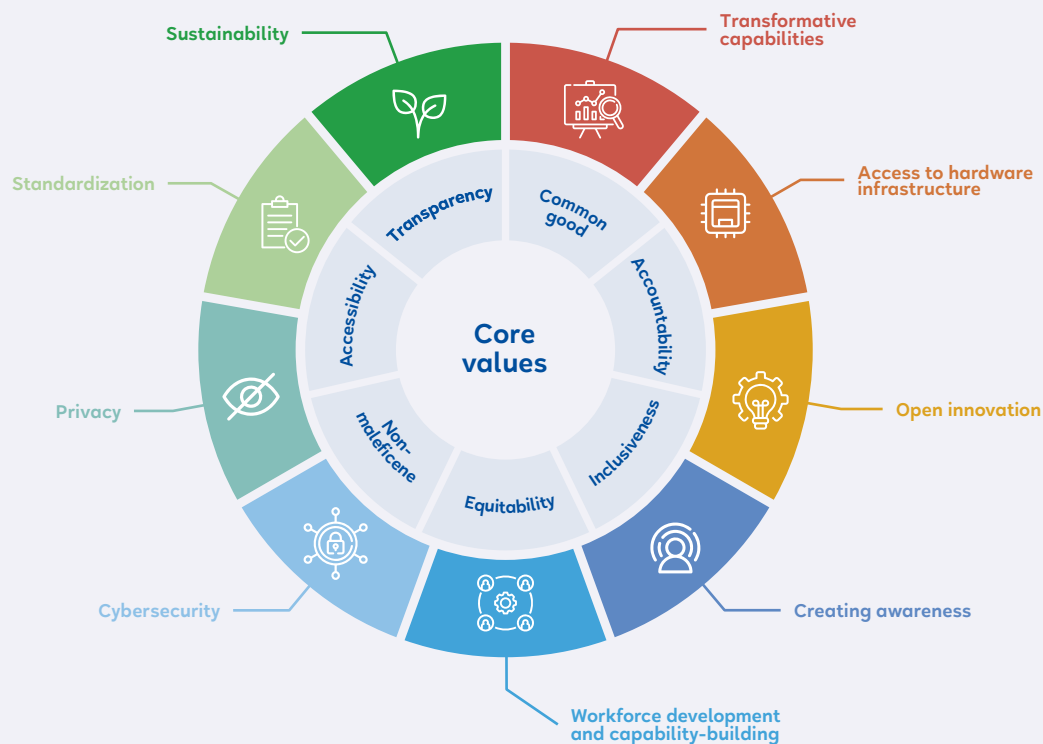
Bij het beoordelen van de impact van technologie en de analyse van de mogelijke bijdrage aan de samenleving moeten organisaties inclusiviteit nastreven. Hierbij moet een divers scala aan standpunten van belanghebbenden worden betrokken. Doel is een zinvolle dialoog en het vermijden van te smalle definities van wat als schadelijk of heilzaam gebruik van de technologie kan worden beschouwd.

²⁸ https://www3.weforum.org/docs/WEF_Quantum_Computing_2022.pdf

²⁹ Bekijk voor een volledig overzicht het WEF rapport: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Quantum_Computing_2022.pdf

WEF Quantum computing governance principles

Themes and cross-cutting core values



Figuur 04 Quantum computing governance principles
(Bron: World Economic Forum)

Billijkheid (Equitability)

Ontwikkelaars en gebruikers van quantumtechnologie zorgen ervoor dat de voordelen van de technologie en de impact daarvan eerlijk en gelijkmatig worden verdeeld over de verschillende groepen. Bijzondere aandacht wordt hierbij besteed aan eventuele specifieke behoeften van kwetsbare bevolkingsgroepen om de billijkheid te waarborgen.

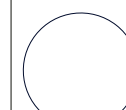
Berokken geen schade (Non-maleficence):

Zorg dat alle belanghebbenden de technologie gebruiken op een veilige, ethische en verantwoorde manier, zodat de technologie geen schade berokkent. Alle belanghebbenden zorgen ervoor dat de technologie mensen niet in gevaar brengt, bedoeld of onbedoeld. Om te zorgen dat geen kwaad wordt berokkend, moet systematisch data worden verzameld over de impact. Het zou bijvoorbeeld zo kunnen zijn dat een organisatie doet wat het moet doen (volgens wettelijke verplichtingen). Dat ontslaat een organisatie met het oog op deze waarde echter niet van de plicht om na te gaan of te controleren wat de uitwerking is van de genomen acties. Denk aan de zaken waar de nationale ombudsman zich vaak op richt of de kfkbrigade, waar organisaties zich aan hun wettelijke taken houden en hun plichten uitvoeren, maar geheel onbedoeld, toch schade berokkenen. Deze waarde betekent bijvoorbeeld dat organisaties informatie moeten verzamelen over de impact van hun handelen voor belanghebbenden en moeten ingrijpen wanneer die impact onbedoeld is.

Toegankelijkheid (accessibility):

Kennis van quantumtechnologie en toegang tot faciliteiten om de technologie toe te passen (denk aan quantumcomputing *as-a-service*) moeten breed toegankelijk zijn voor de samenleving. Deze waarde omvat de ontwikkeling, de toepassing en het gebruik van de technologie. Om deze waarde te kunnen realiseren zijn maatregelen nodig rond standaardisatie, het voorkomen van monopolieposities of afhankelijkheid van een enkele partij of land. De markt moet zo zijn ingericht dat nieuwe toetreders op de markt kunnen komen, met nieuwe diensten of producten die gebruik maken van quantumtechnologie.

Een belangrijk aspect van toegankelijkheid is dat quantumtechnologie op den duur betaalbaar en bruikbaar wordt voor iedereen die daar belang bij heeft. Dit principe kan strijdig zijn met het belang van overheden (militair strategisch potentieel van quantumtechnologie) en van grote partijen die het investeringsvermogen hebben om de markt over te nemen en te sturen.



Dit principe vergt overheidsregulering, afspraken over het kunnen delen en hergebruiken van data en het effectief kunnen uitoefenen van regie en controle op data door de belanghebbenden. Maar het vraagt ook om bewustzijn van afnemers van diensten dat de keuze voor een grote en goedkope leverancier op langere termijn niet in het belang hoeft te zijn van de organisatie zelf, een sector of samenleving.

Transparantie

Gebruikers, ontwikkelaars en regelgevers zijn ten alle tijden transparant over hun doel en bedoelingen met betrekking tot quantumtechnologie.

Andere ethische kaders

De WEF Principles is natuurlijk niet het enige ethische kader die u kunt toepassen op quantumtechnologie. Net zoals we dat eerder zagen bij AI, zijn er momenteel veel quantum-ethische initiatieven in ontwikkeling. Ethiek is bovendien dynamisch, cultureel sensitief, en context-specifiek. U kunt zelf beslissen welk ethisch kader u het meest geschikt vindt binnen de context van uw toepassing van quantumtechnologie, zolang er maar een heldere wetenschappelijke methodologie ten grondslag ligt aan een dergelijk kader.

Bovendien moet het uit een betrouwbare bron komen (zoals de VN, OESO, Asilomar, of de IEEE). Een in technologie gespecialiseerd ethicus zal u hierin kunnen bijstaan.³⁰ Cruciaal hierbij is dat het ethisch kader zo quantumspecifiek mogelijk is, aangevuld met principes, waarden, doelen en thema's die voor elke systeem of iedere technologie relevant zijn.³¹

³⁰ Dit benadrukt wederom het belang om de EQTA in multidisciplinaire teams te bespreken/uit te voeren.

³¹ Mauritz Kop, *Why we need to consider the ethical implications of quantum technologies*, 17 Dec 2021, Physics World, IOP Publishing, <https://physicsworld.com/a/why-we-need-to-consider-the-ethical-implications-of-quantum-technologies/>.

PRAKTIJK

Stap 4: Dialoog met stakeholders

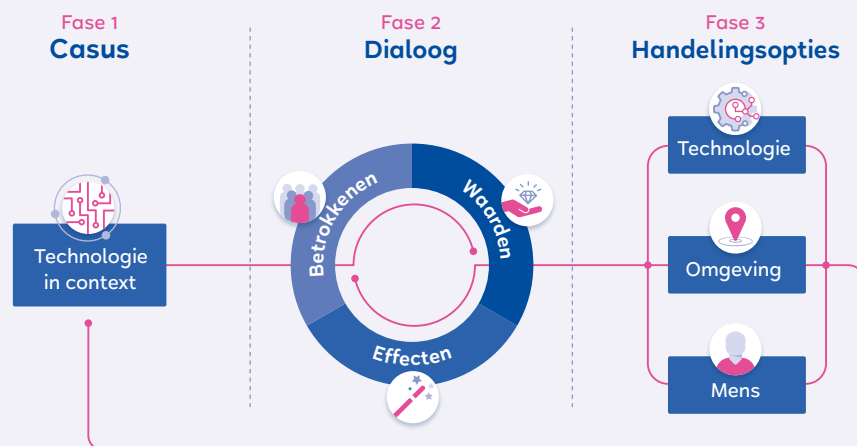
De EQTA biedt geen checklist wat goed en fout is, of wat is toegestaan en wat is verboden. Het frame van 'goed of fout' van een technologie kan leiden tot het geheel omarmen of juist veroordelen van de technologie. Dit kan het beeld geven dat technologie en samenleving tegenover elkaar staan, waar ze in werkelijkheid juist intensief met elkaar verweven zijn. Technologie kan voordelen voor de samenleving opleveren, bijvoorbeeld in het verbeteren van de gezondheidszorg, en tegelijkertijd negatieve effecten met zich meebrengen, bijvoorbeeld op het gebied van privacy. In plaats van technologie in zijn algemeenheid te beoordelen, is het zinvoller om de toepassing van een bepaalde technologie in een specifieke context op een ethisch verantwoorde manier te begeleiden. De EQTA neemt deze nauwe verwevenheid van technologie, mens, organisatie en samenleving als uitgangspunt.

Bij de Quicksan is het doel van de dialoog om snel een beeld te vormen welke aspecten relevant zijn en of een nauwkeurigere analyse nodig is (na de dialoog, stap 4, gaat de lezer terug naar stap 1).

De lezer die stap 1, 2 en 3 heeft doorlopen heeft nu de aandachtspunten in kaart gebracht vanuit verschillende perspectieven: maatschappelijk, technisch, organisatorisch, juridisch en ethisch. In deze vierde stap worden deze aandachtspunten en eisen samengebracht.

De methodiek die voor beide wordt gebruikt is die van de dialoog, waarin verschillende personen (experts op relevante terreinen, eindgebruikers, management en degenen in de organisatie die moeten werken met de technologie) het creatieve gesprek aangaan om deze aandachtspunten en eisen uit vaak heel verschillende en gewoonlijk gescheiden domeinen te vertalen naar concrete aanpakken.

Aanpak begeleidingsethiek



Figuur 05 Aanpak begeleidingsethiek

Aanpak Begeleidingsethiek

De dialoog maakt gebruik van de Aanpak Begeleidingsethiek om al de verschillende aspecten en de verwevenheid samen te brengen en een (wenselijke) richting te geven. Hiermee verandert de vraag of een technologie verantwoord is naar hoe we de technologie op een verantwoorde manier kunnen ontwikkelen en inzetten. Bij begeleidingsethiek staat niet de technologie als geheel centraal, maar de specifieke toepassing. Het is daarbij belangrijk om de context van de technologie-toepassing zo concreet mogelijk te omschrijven (in stap 2 van dit stappenplan is al een aanzet hiertoe gemaakt).

Hoe concreter de toepassing in de context kan worden omschreven, hoe preciezer ook de impact op mensen en samenleving in kaart kan worden gebracht (**fase 1**). Vervolgens is het van belang om alle betrokkenen bij de toepassing in kaart te brengen, net als de positieve en negatieve effecten die de technologie-toepassing op de betrokkenen heeft en de waarden die daarbij in het geding zijn (**fase 2**).

Als laatste is het van belang om concrete aanpakken te benoemen. Daarbij staat centraal welke maatregelen kunnen worden genomen om negatieve effecten af te zwakken en/of positieve effecten te optimaliseren. Hierbij kan worden gekeken naar maatregelen in de technologie zelf, maar dat kunnen ook aanpassingen zijn in de context of verbeteringen in het gebruik van de technologie (**fase 3**). Het beste is het om deze zaken te bespreken in een dialoogvorm, waaraan alle betrokkenen deelnemen.³²

Stap 5: Afweging

Om afwegingen te maken kan gebruik worden gemaakt van een aantal beproefde mechanismen uit de juridische gereedschapskist: doeltreffendheid, noodzakelijkheid, subsidiariteit en proportionaliteit. Deze middelen zijn ook zeer goed bruikbaar om afwegingen te maken over het geheel aan juridische, maatschappelijke en ethische impact.

Doeltreffendheid/effectiviteit

Bij doeltreffendheid moet worden afgewogen of de voorgestelde maatregel voldoende leidt tot het doel dat u voor ogen heeft. Dit vergt dan ook een vooruitziende blik. Hoe waarschijnlijk is het dat met de inzet van de quantumtoepassing daadwerkelijk het gestelde doel (of doelen) wordt/worden bereikt?

Noodzakelijkheid/subsidiariteit

Bij de beoordeling of een quantumtoepassing noodzakelijk en subsidiair is moet worden gekeken naar alle instrumenten die beschikbaar zijn om het gestelde doel/de gestelde doelen te halen. Vervolgens moet worden vastgesteld of de beoogde toepassing het minst ingrijpende middel is om dat doel/die doelen te bereiken.

³² Aanpak Begeleidingsethiek: <https://ecp.nl/wp-content/uploads/2020/11/Guidance-ethics-approach.pdf>.

Proportionaliteit

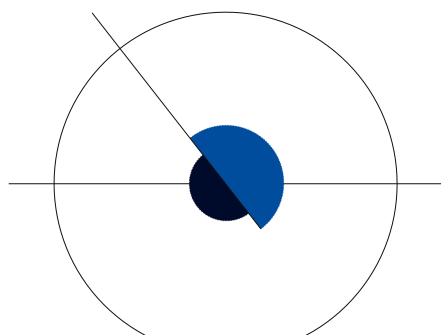
De laatste stap in de afweging is het vaststellen van de proportionaliteit. De vraag of een toepassing proportioneel is hangt samen met de impact van de quantumtoepassing op het individu, tegenover het gewicht van de maatschappelijke doelen die worden nagestreefd. Het gaat dus om een belangenafweging tussen de impact op betrokkenen enerzijds en het nagestreefde belang anderzijds. In zijn algemeenheid is voor een zwaarwegender doel meer geoorloofd.

Stap 6: Vastlegging en verantwoording

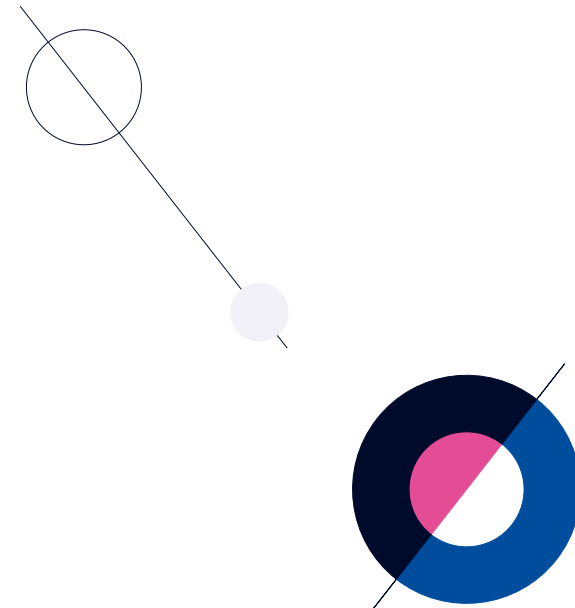
Het is raadzaam om de uitkomsten van de genomen stappen vast te leggen. Ten eerste dient dit ter naslag en borging van keuzes die gemaakt zijn voor het ontwerp en de verdere ontwikkeling van de toepassing. Daarnaast kan het vastleggen van de genomen stappen helpen om keuzes en afwegingen beter te onderbouwen.

Stap 7: Feedback en periodieke evaluatie

In de laatste stap staan feedback en evaluatie centraal. De kans is groot dat uw quantumtoepassing nog volop in ontwikkeling is. Het is daarom raadzaam om periodiek stil te staan bij de ethische en maatschappelijke verantwoording van de technologietoepassing. Door regelmatig te evalueren ontstaat er een *feedback-loop* die de toepassing van quantumtechnologie beter en effectiever maakt. Maak in deze stap ook duidelijk op welke manier u deze *feedback-loop* wilt bewerkstelligen.



“QUANTUMTECHNOLOGIE STELT
NIEUWE KWALITEITSEISEN AAN
TECHNOLOGIE.”



03

VOORBEELDEN QUANTUMTECHNOLOGIE

Hoewel quantumtechnologie een grote belofte is, zitten veel toepassingen nog in een onderzoekende of verkennende fase. Ontwikkelingen op het gebied van quantumtechnologie vinden nog veelal plaats in een laboratoriumomgeving.

Er zijn echter ook steeds meer ideeën en initiatieven om quantum in de praktijk toe te passen. Mocht u nog geen concreet beeld hebben bij de toepassingsmogelijkheden van quantumtechnologie, dan beschouwen we in dit laatste deel een aantal quantum-initiatieven uit de praktijk in vogelvlucht.

Veel organisaties ondernemen stappen om zich te bekwamen op het gebied van quantumtechnologie. Grotere organisaties hebben vaak teams die zich bezighouden met het onderzoeken van kansen en mogelijk negatieve effecten van nieuwe technologieën. Zij kijken vaak ook al naar hoe quantumtechnologie kan worden ingezet om hun

doelen te bereiken. Daarnaast ziet een groeiend aantal organisaties quantumtechnologie op zich afkomen en zijn er soms zorgen over de negatieve effecten. Denk bijvoorbeeld aan problemen rondom encryptie.

In dit laatste deel van het Exploratory Quantum Technology Assessment (EQTA) staan we stil bij voorbeelden van organisaties die zich voorbereiden op quantumtechnologie. Sommige toepassingen liggen dichtbij en vergen al concrete actie. Andere toepassingen liggen nog verder weg waarbij organisaties eerste verkenningen doen naar de mogelijkheden (zie [pagina 93: Wat kan quantumtechnologie?](#)) hoe ver verschillende soorten toepassingen zijn).

Omdat ook de concrete toepassingen nog in de kinderschoenen staan, spreken we nog niet over usecases of scenario's maar hebben we het over voorbeelden. In de volgende paragrafen vindt u daarom een aantal voorbeelden van organisaties die zich voorbereiden op de komst van quantumtechnologie. Hoe benutten zij de kansen? En hoe bereiden zij zich voor op eventuele negatieve effecten?

QUANTUMSENSING EN WATERKWALITEIT

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat volgt de ontwikkeling van quantumtechnologie op de voet. Allereerst richt het ministerie zich op scenario's om de overheid quantumveilig te maken. Daarnaast kijkt het ministerie naar de kansen van quantumtechnologie: een speciaal team verkent momenteel de mogelijkheden voor het toepassen van quantumtechnologie voor het monitoren van oppervlaktewater.

De waterkwaliteit van het oppervlaktewater wordt nu grotendeels gemeten door monsters te nemen, die vervolgens naar het laboratorium worden gestuurd. Op basis van de resultaten kunnen dan maatregelen worden genomen. Daarnaast is het niet mogelijk om alle chemische verbindingen te meten. Dit maakt het uitdagend



om tijdig en op de juiste locatie maatregelen te nemen, zeker in het geval van mogelijk gevaar voor de volksgezondheid.

Overheden en waterbedrijven zijn verantwoordelijk voor de waterkwaliteit. Als overheden en waterbedrijven deze taak niet goed kunnen uitvoeren kan dit leiden tot gevaren voor de volksgezondheid, de vermindering van voedselproductie, het blokkeren van economische groei en tot slot imagoschade. Onder meer door intensief landgebruik, de hoge bevolkingsdichtheid in Nederland en lozingen in het water zoals PFAS, staat de waterkwaliteit van Nederland onder druk. Belangrijke vervuilingbronnen die moeten worden aangepakt zijn bijvoorbeeld mest en bestrijdingsmiddelen uit de landbouw. Vervuild water is niet geschikt als drinkwater, vanwege schadelijke gevolgen voor de gezondheid. Een bijkomend probleem is dat het moeilijk en kostbaar is om het water geschikt te maken voor consumptie.

Verspreiding vervuiling in kaart

Quantumtechnologie in combinatie met Artificiële Intelligentie (waaronder Machine Learning), sensoren en simulaties kunnen wellicht helpen om vervuiling en hoe vervuiling zich verspreidt door het water inzichtelijk te maken.

Op dit moment wordt door wetenschappers gewerkt aan hypergevoelige quantumsensoren die realtime kunnen meten welke stoffen of chemische verbindingen in een vloeistof zitten.

Machine Learning wordt nu al gebruikt om modellen te bouwen die verspreiding van stoffen in het oppervlaktewater kunnen voorspellen. Verwachting is dat quantumcomputing (op den duur) Machine Learning krachtiger en sneller kan maken. Op deze manier zou quantumtechnologie een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de waterkwaliteit. Zo levert deze technologie mogelijk veel beter inzicht in de waterkwaliteit en blijven de kosten voor de monitoring van de waterkwaliteit, de zuivering van het water en handhaving beheersbaar.

PILOT VEILIG COMMUNICATIENETWERK HAVENBEDRIJF

De haven van Rotterdam experimenteert met de toepassing van quantumtechnologie. De haven ziet hierbij vooral kansen op het gebied van veilige communicatie. Het havenbedrijf wil onder meer experimenteren met een quantumnetwerk om veilig te communiceren met diverse gebruikers. Denk bijvoorbeeld aan de communicatie met havenmeesters en de douane. Zo hoopt het havenbedrijf misbruik van haar kritische infrastructuur te voorkomen. Het beveiligen van de communicatiesystemen kan de veiligheid van zeeschepen vergroten en het economische verkeer dat daaruit voortvloeit verbeteren.

De haven van Rotterdam vertegenwoordigt een belangrijk deel van de Nederlandse economie en verwerkt bijna 15 miljoen zeecontainers per jaar. Daarmee is het een van de grootste havens ter wereld. De totale economische toegevoegde waarde van de haven is 8,2% van het Nederlandse BNP (63 miljard euro) en biedt direct en indirect werk aan meer dan 500.000 mensen.

Veiligheid aanzienlijk vergroten

Het havenbedrijf beheert een kritische infrastructuur waarvan de Nederlandse samenleving in hoge mate afhankelijk is. Het havenbedrijf maakt daarbij gebruik van cruciale gegevens die nodig zijn voor een veilige doorvoer van schepen, mensen en vracht. Denk hierbij bijvoorbeeld aan meting van waterstanden. Als hiermee 'geknoeid' kan worden door malafide partijen kunnen de gevolgen gigantisch.

Door gebruik te maken van quantumeigenschappen is het mogelijk te detecteren of sleutels zijn afgeluisterd bij transport over het netwerk. Die geheime sleutels worden vervolgens gebruikt om informatie bij de verzender te versleutelen en bij de ontvanger te ontsleutelen. De versleutelde informatie wordt overigens via het 'gewone' internet verzonden.

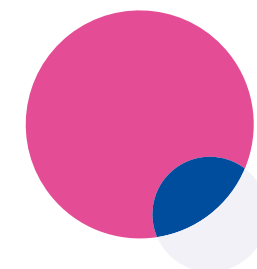
Op basis van deze nieuwe technologie (het protocol is al ontwikkeld in 1984³³, maar toepassing in de praktijk volgde pas het laatste decennium³⁴) kan in een afgeschermd omgeving data worden uitgewisseld tussen een aantal partijen in de haven. Het Havenbedrijf Rotterdam, Portbase (een initiatief van de havens van Rotterdam en Amsterdam dat bedrijven en organisaties digitaal met de havens verbindt) en een aantal nautische dienstverleners zullen aan de test meewerken. Doel van het experiment is om de technische mogelijkheden van het systeem verder te valideren. De kracht van de gekozen opzet is het gemak waarmee deze tegen relatief lage kosten kan worden uitgebreid met veel meer gebruikers.

VOORBEREIDING QUANTUMVEILIGE ENCRYPTIE BIJ DE OVERHEID EN FINANCIËLE SECTOR

Zoals gezegd zijn er veel organisaties die op een andere manier te maken krijgen met quantumtechnologie dan zelf de technologie toe te passen. Zo kan quantumcomputing er op termijn voor zorgen dat de cryptografie die momenteel wordt gebruikt in veel internet-protocollen niet meer voldoet. Om die reden is er in toenemende mate aandacht voor quantumveilige cryptografie. Dit zijn cryptografische technieken die een quantumcomputer niet kan kraken. Het lijkt soms paradoxaal dat de huidige gewone computers en telefoons al quantumveilige encryptie kunnen uitvoeren: voor quantumveilige cryptografie zijn geen quantumcomputers nodig.

33 <https://en.wikipedia.org/wiki/BB84>

34 https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_key_distribution



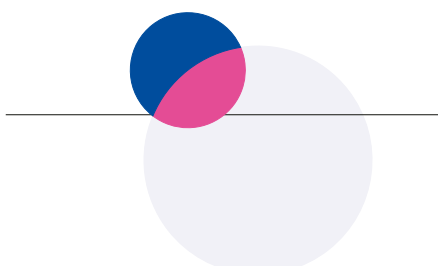
Het Amerikaanse National Institute for Standards and Technology (NIST) heeft onlangs een selectie gemaakt van encryptiemethoden die niet zijn te kraken door een quantumcomputer. Deze methoden worden wereldwijd uitgetest en zullen uiteindelijk leiden tot een standaard voor quantumveilige cryptografie.

Diverse organisaties zijn al druk bezig om zich voor te bereiden op een migratie naar quantumveilige encryptie. Zo ook de Rijksoverheid. Dit gebeurt met het oog op bescherming tegen zogenaamde ‘*store now, decrypt later*’-aanvallen. Hierbij slaat een kwaadwillende de versleutelde vertrouwelijke informatie nu op — *store now* — en als de encryptie gekraakt kan worden met een quantumcomputer kan de informatie ontsleuteld worden — *decrypt later*. Om dit type aanvallen te bemoeilijken werkt de overheid aan een migratieplan voor de bescherming van staatsgeheimen en andere informatie die langere tijd beschermd moet worden, door ze te versleutelen met quantumveilige encryptie.

Gezamenlijke aanpak

Op dit moment wordt er gewerkt aan een rijksbreed plan om deze dreiging gezamenlijk aan te pakken. Het doel is een quantumveilige overheid. Ook de Nederlandse Vereniging van Banken (NVB) is samen met banken in Nederland bezig om de *awareness* over de mogelijkheden en negatieve effecten van quantumtechnologie te vergroten binnen de financiële sector.

Een belangrijk aandachtspunt zijn de geldautomaten: die hebben een levensduur van meer dan 10 jaar en moeten worden voorbereid op het draaien van nieuwe encryptiemethoden die quantumveilig zijn. Zo geeft de NVB regelmatig seminars over dit thema en zijn er diverse trainingen ontwikkeld voor bankmedewerkers en managers in de financiële sector. Ook onderhoudt de NVB contact met zusterorganisaties hierover in het buitenland. Voor implementatie van nieuwe standaarden is immers internationale samenwerking nodig.



VERKENNING QUANTUMTECHNOLOGIE IN DE FINANCIËLE SECTOR

Naast de awareness rondom de negatieve effecten van quantumtechnologie op het gebied van encryptie wordt er in de financiële sector ook gewerkt aan casestudies om de mogelijkheden van quantumcomputing te verkennen. Zo wordt er gekeken naar de optie om door middel van quantumalgoritmes voor optimalisatie rentes beter te voorspellen. Quantumcomputing kan ook interessante toepassingen bieden op het gebied van optimalisatie, bijvoorbeeld bij portfoliomanagement en Machine Learning.³⁵

De ontwikkeling op het gebied van veel nauwkeurigere en snelle atoomklokken en oscillatoren (schakelingen) zullen ervoor zorgen dat er wereldwijd veel sneller handel kan plaatsvinden.

Daarnaast kunnen quantumalgoritmes voor optimalisatie en (Monte Carlo-)simulaties op quantumcomputers in de toekomst mogelijk een rol spelen bij het detecteren van verdachte transacties in het kader van wetgeving op het gebied van Anti Money Laundering (AML) — ook wel anti-witwassen genoemd.

Veilige authenticatie en autorisatie

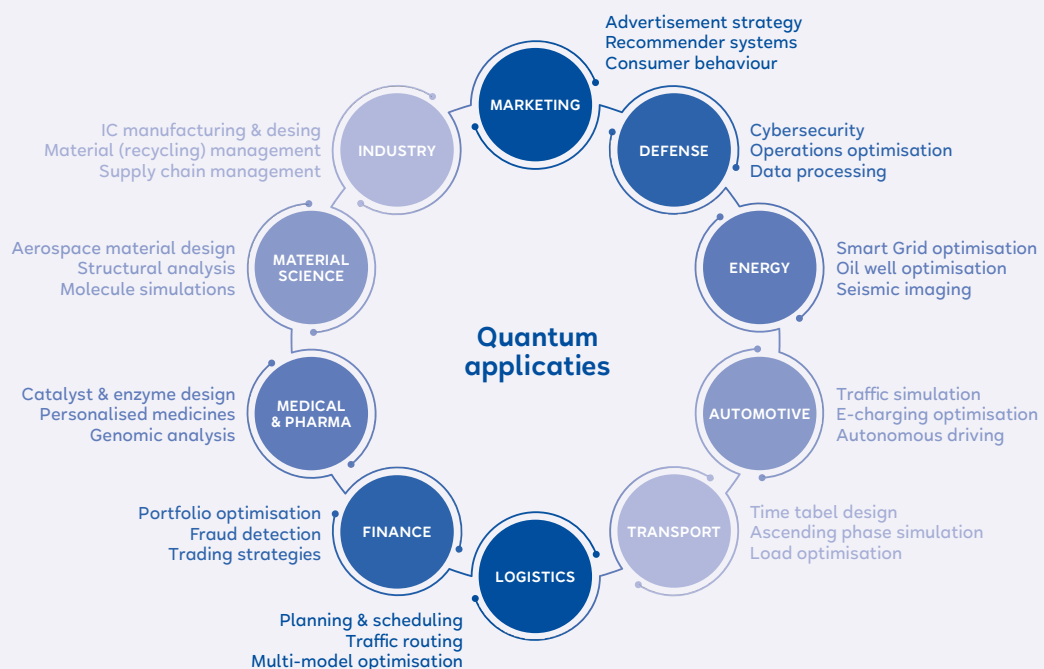
Een belangrijk onderwerp is ook de mogelijkheid tot veilige authenticatie en autorisatie met behulp van quantumtechnologie. Quantumtechnologie maakt nieuwe manieren van encryptie mogelijk (zie het eerdere voorbeeld van de haven op [pagina 78: Pilot veilig communicatienetwerk Havenbedrijf](#)). Maar er komen ook nieuwe manieren om eenduidig vast te stellen of met de juiste machine gegevens worden uitgewisseld en of die machine wel wordt bediend door de juiste persoon.

³⁵ Denk ook aan optionpricing en andere toepassingen (Orús, Román, Samuel Mugel, and Enrique Lizaso. “Quantum computing for finance: Overview and prospects.” *Reviews in Physics* 4 (2019): 100028.) - <https://doi.org/10.1016/j.revip.2019.100028>.





Quantum applications



Figuur o6 Quantum applications (Bron: TNO)

QUANTUMTECHNOLOGIE IN DE TELECOMSECTOR

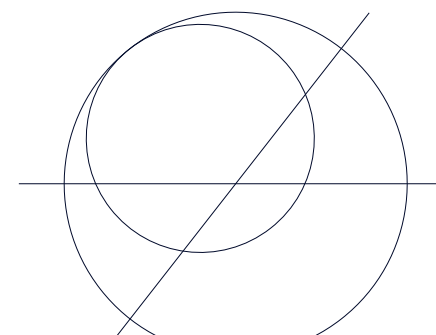
De telecomsector zal op verschillende manieren te maken krijgen met quantumtechnologie. In deze paragraaf sommen we een aantal ontwikkelingen op, op het gebied van quantumsensing, quantumcommunicatie, quantumcomputing en quantumencryptie.

Quantumsensing

In de eerste plaats zullen de nieuwe generaties quantumsensoren – en met name de atoomklokken – al snel een plaats krijgen in de infrastructuur (Technology Readiness Level (TRL) 6: experimenten in de relevante omgeving. Zie [pagina 90](#) voor nadere uitleg over TRL). Omdat apparatuur in de netwerken veel nauwkeuriger en met een hogere kloksnelheid werkt en ook nauwkeurig kan worden gesynchroniseerd, zal ook de transmissiecapaciteit verhogen.

Een belangrijke beperking voor de huidige transmissiecapaciteit en verwerkingscapaciteit van apparatuur is immers de relatief onnauwkeurige meting van tijd. De onderdelen van apparaten en in netwerken worden op elkaar afgestemd door klokpulsen: bij iedere 'tik' wordt een opdracht uitgevoerd. De datapakketjes worden voorzien van (relatief onnauwkeurige) tijdstempels. Naarmate de tijdpulsen exacter worden, kan ook de frequentie toenemen van het uitvoeren van opdrachten en worden ook de tijdstempels nauwkeuriger.

Ooit werd het ritme van afspraken bepaald door de torenklok die eens in het uur en later eens in het kwartier sloeg. Nu wordt het ritme bepaald door minuten: iedereen heeft een klok die op de minuut nauwkeurig is. Voor apparaten geldt hetzelfde: hoe preciezer de tijdmeting, hoe frequenter de pulsen en daarmee de synchronisatie.



Met gevoelige quantum-zwaartekrachtsensoren zal voor het onderhoud en de aanleg van de infrastructuur de ondergrond veel nauwkeuriger in kaart kunnen worden gebracht (TLR 4).³⁶

Nieuwe generatie antennes

Quantumtechnologie maakt wellicht in de toekomst een nieuwe generatie antennes³⁷ mogelijk die niet alleen vele malen gevoeliger is, maar, op den duur, mogelijk ook eenvoudiger, goedkoper en robuuster kan zijn (deze toepassing heeft het laagste 'readiness level', TRL 1: de werking van het principe is aangetoond in een laboratorium). De verwachting is dat de toepassing van quantumsensoren een plaats krijgt in bijvoorbeeld de radiotechnologie (en hiermee het radio-spectrum) en autonome navigatie.

Quantumsensoren zijn naar verwachting vele mate sterker en nauwkeuriger dan de huidige ontvangstapparatuur door het grotere bereik. Een verwachting die hieraan gekoppeld is, is dat de quantumsensor hierdoor over de gehele bandbreedte van het radiospectrum bestaande toepassingen versterkt. Dit geldt zowel voor locatiebepaling met GNSS (satellietcommunicatie) als voor mobiele communicatie tussen apparaten. Daarnaast zou de toepassing van quantumsensoren bestaande radiotoepassingen kunnen vervangen of compleet nieuw gebruik van de frequentieruimte kunnen introduceren. De verwachting is dat op diverse plaatsen ultragevoelige, energiezuinige quantumsensoren worden geplaatst om allerlei eigenschappen te meten van lucht, water en bodem. Dat zal leiden tot belangrijke uitdagingen voor de telecominfrastructuur: het veilig transporteren van al deze data vergt grote investeringen.

³⁶ <https://www.nature.com/articles/s41586-021-04315-3>, <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/popular-physicsprize2012.pdf>.

³⁷ <https://www.forbes.com/sites/moorinsights/2020/04/30/big-atoms-make-small-super-sensitive-quantum-receivers/?sh=6c2cb737740c>, https://www.army.mil/article/212935/army_researchers_make_giant_leap_in_quantum_sensing over: David Meyer, Kevin Cox, Fredrik Fatemi, Paul Kunz, "Digital Communication with Rydberg Atoms and Amplitude-Modulated Microwave Fields", App. Phys. Lett. (R) 112, 211108 (2018). [arXiv:1803.0354] - <https://arxiv.org/abs/1803.03545>.



“Quantum Machine Learning zal patronen kunnen herkennen in grote datasets die nu nog verborgen zijn.”

Quantumcommunicatie

Quantum Key Distribution maakt veiligere encryptie en veiligere manieren om te authentifieren en autoriseren mogelijk. Daarbij wordt gebruik gemaakt van glasvezelinfrastructuur om quantumdeeltjes te versturen.³⁸ De telecomproviders spelen een rol in het ontwikkelen van deze infrastructuur.

De communicatie tussen quantumcomputers zal op den duur ook plaatsvinden via dit netwerk. Dat betekent dat telecomproviders met een toezichthouder als de Rijksinspectie Digitale Infrastructuur (de nieuwe naam van het Agentschap Telecom per 1 januari 2023), dat gaat over de veiligheid en betrouwbaarheid van digitale telecominfrastructuur en de continuïteit van organisaties die daarvoor afhankelijk zijn van IT, in ieder geval op de hoogte moeten zijn van de laatste relevante ontwikkelingen. De geopolitieke aspecten (afhankelijkheid van wereldspelers en grote techpartijen) vergen misschien al maatregelen, terwijl de technologie nog in ontwikkeling is.

Quantumcomputing

De telecomsector zal de toename in reken capaciteit van quantumcomputers kunnen benutten om optimalisatieproblemen te adresseren voor bijvoorbeeld het sturen van de netwerkbelasting, het plannen en voorkomen van onderhoud en het inrichten van

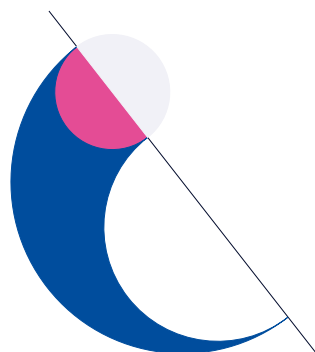
³⁸ Via de lucht (satellieten) kunnen deze deeltjes ook worden verzonden en in theorie zelfs fysiek.

netwerken.³⁹ Met Quantum Machine Learning kunnen patronen herkend worden in grote datasets, die nu nog verborgen zijn.

Dit veronderstelt wel coöperatieve samenwerking, omdat zonder maatregelen in Nederland en misschien wel in heel Europa het principe geldt: 'the winner takes it all'. In dit geval zou dan de telecomprovider die beschikking heeft over de meeste data de grootste worden en de beste diensten op dit gebied kunnen leveren.

Quantumveilige encryptie

Net als de overheid en de financiële sector zullen telecomproviders de volgende jaren al maatregelen moeten treffen om te zorgen dat netwerken en apparatuur over een decennium quantumveilig zijn. Dit betekent dat de gebruikte encryptiemethoden niet gekraakt kunnen worden door quantumcomputers.



³⁹ En ook hier gelden voornamelijk realtime aspecten: hoe kunnen realtime metingen gebruikt worden voor self-configuratie van het netwerk, bijvoorbeeld gebruik makend van QML. De publicatie is (niet-academici) te downloaden via: <https://www.mdpi.com/2073-431X/10/6/71>.

“QUANTUMTECHNOLOGIE MAAKT NIEUWE
MANIEREN VAN ENCRYPTIE MOGELIJK.”

B01

BIJLAGE 01

QUANTUMTECHNOLOGIE IN HET KORT

Dit hoofdstuk beschrijft in kort bestek wat quantumtechnologie is en welke toepassingen de technologie heeft.

Een belangrijk vraagstuk is steeds: hoe ver is de technologie? Daarvoor introduceren we het concept van Technology Readiness Levels. Een belangrijke bron voor dit hoofdstuk is de publicatie 'De impact van quantum'⁴⁰ (juli-2021), door Birch, in opdracht van Quantum Delta Nederland en Innovationquarter Zuid-Holland.

⁴⁰ <https://www.quantumforbusiness.eu/insights/birch-quantum-impact>

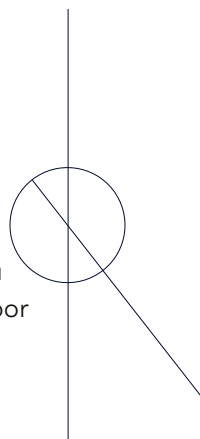
TECHNOLOGY READINESS LEVELS (TRL'S)

Omdat de verschillende toepassingen van quantumtechnologie sterk verschillen in volwassenheid, wordt gebruik gemaakt van het concept *Technology Readiness Level* (TRL). Dit concept is ontwikkeld door NASA⁴¹ en inmiddels breed in gebruik om de volwassenheid van een technologie te schetsen. Bij TRL 1 (het laagste niveau van volwassenheid) is alleen het basisprincipe waargenomen waar de toepassing gebruik van maakt. Een of twee levels hoger is de uitvoerbaarheid ook onderzocht. Vanaf level 4 wordt de technologie daadwerkelijk ontwikkeld en bij level 5 en 6 ook gedemonstreerd. Bij level 6 tot en met 9 worden er ook systemen en subsystemen ontwikkeld. Bij TRL 9 (het hoogste volwassenheidsniveau) is het systeem ook getest en klaar om te worden geïmplementeerd.

WAT IS QUANTUMTECHNOLOGIE?

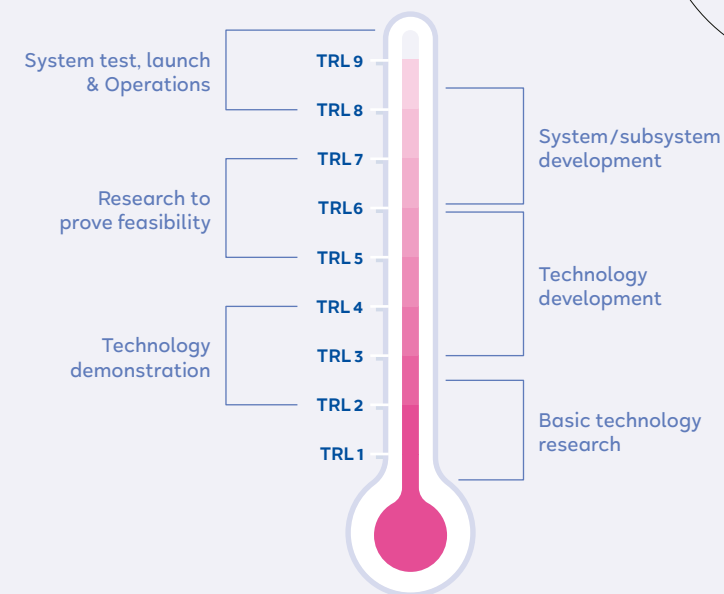
Quantumtechnologie maakt gebruik van de wetten van de quantummechanica: de wetten die het gedrag van deeltjes beschrijven op het niveau van atomen, fotonen, elektronen en moleculen. Door de technologische ontwikkelingen in de laatste decennia wordt het steeds beter mogelijk om het gedrag van deze deeltjes te meten en gericht te beïnvloeden.

De verschijnselen die door de wetten van de quantummechanica worden beschreven stelden wetenschappers al enkele eeuwen voor raadsels. De wetten van de quantummechanica beschrijven de verschijnselen op zo'n manier dat ze voorspeld kunnen worden.



⁴¹ https://www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/trl_demystified.html

Technology readiness levels



Figuur 07 Technology Readiness Levels

De eerste volledige beschrijving van de verschijnselen door natuurkundigen is bijna een eeuw oud (als we de Solvay Conferentie van 1927⁴² als mijlpaal nemen). De laatste decennia (en vooral de laatste jaren) zijn de technische ontwikkelingen zo ver gevorderd dat we niet alleen het gedrag van deze deeltjes kunnen observeren en beschrijven, maar die deeltjes ook steeds beter leren beheersen en sturen. Dit leidt tot een groot aantal nieuwe toepassingen. Dat laatste vormt de aanleiding voor het schrijven van deze Exploratory Quantum Technology Assessment (de EQTA).

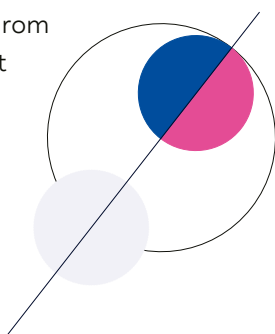
⁴² https://en.wikipedia.org/wiki/Solvay_Conference (geraadpleegd 18.10.2022).

Overigens is het belangrijk te bedenken dat het kunnen beschrijven, voorspellen en zelfs manipuleren van het gedrag van de kleinste deeltjes nog iets anders is dan het begrijpen van het gedrag.

De woorden die de quantummechanica gebruikt om verschijnselen te beschrijven zijn niet per se verklarend: denk aan woorden die sterk geassocieerd zijn met quantumtechnologie zoals ‘quantumverstrengeling’ of ‘superpositie’. Het zijn begrippen om het gedrag van deeltjes te beschrijven en te voorspellen. De begrippen zijn te vergelijken met de wet van de zwaartekracht: de wet van de zwaartekracht zegt niets over de mechanismen die de zwaartekracht veroorzaken, maar stelt ons wel in staat het gedrag van objecten hier op aarde te beschrijven en te voorspellen. Omdat niemand zich verbaast over het vallen van objecten, heeft ook niemand behoefte aan zo’n verklaring in woorden. We denken dat dat ook voor quantummechanica gaat gelden: als we eenmaal gewend raken aan de toepassingen van quantumtechnologie, stellen alleen wetenschappers nog vragen over het waarom.

Als we woorden gebruiken om het gedrag van deeltjes te beschrijven, leidt dat al snel tot misverstanden. Zulke woorden dragen daardoor bij aan mystificatie van quantumtechnologie. Denk aan zinnen als “quantumdeeltjes die op twee plaatsen tegelijk zijn” of “quantumdeeltjes die pas een eigenschap krijgen als ze worden waargenomen”. Of dat bij quantumverstrengeling “sneller dan het licht” het ene verstrengelde deeltje informatie met het andere verstrengelde deeltje “communiqueert”.

Dit soort uitleg (in woorden) is, denken wij, niet nodig om toepassingen (en de beperkingen) van quantumtechnologie te begrijpen en daarom wordt in dit hoofdstuk afgezien van een dergelijke beschrijving. Ook van een ‘gewone’ computer of mobiele telefoon is het immers voor de meeste mensen onbegrijpelijk (hoe door alleen de waarden 0 en 1 te gebruiken zulke complexe functionaliteit kan ontstaan). We richten ons in de EQTA daarom op de functionaliteit van quantumtechnologie en niet op het geven van inzicht in de wetten van de quantummechanica.



WAT KAN QUANTUMTECHNOLOGIE?

Het kunnen meten, beheersen en sturen van het gedrag van quantumdeeltjes leidt tot drie typen nieuwe toepassingen: quantumsensoren, quantumnetwerken en quantumcomputers. Quantumveilige encryptie wordt in de laatste paragraaf besproken: het vraagstuk raakt de hele samenleving, ongeacht de vraag of een organisatie quantumtechnologie gaat toepassen.

Quantumsensoren

Door de wetten van quantummechanica te gebruiken wordt een nieuwe generatie van heel precieze, robuuste en wellicht meer betaalbare sensoren mogelijk. Die sensoren kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden voor het meten van eigenschappen als tijd, beweging, versnelling, afmeting, zwaartekracht, stroom en spanning.

Het toepassen van deze sensoren creëert mogelijkheden voor organisaties om zaken nieuw, anders of beter te doen. Het benutten van deze mogelijkheden vergt aanpassingen binnen organisaties en vraagt om nieuwe samenwerkingen tussen organisaties. Het eenvoudig en zeer nauwkeurig kunnen meten van allerlei eigenschappen leidt al snel tot ethische en juridische vragen: wat is wenselijk en noodzakelijk? Welke waarborgen zijn nodig? De EQTA helpt organisaties om over deze vragen na te denken.

Toepassingen in allerlei domeinen

Het is moeilijk in te schatten hoe groot de impact van quantumsensoren zal zijn op de functionaliteit van apparatuur en – waar deze sensoren leiden tot lagere kosten voor het meten van deze eigenschappen – tot brede toepassing in elektronica. De quantumsensoren zullen toepassing vinden in professionele apparatuur in allerlei domeinen, zoals zorg, logistiek, bouw en telecom. Zo zullen de foto’s van MRI-scans een hogere resolutie kunnen krijgen. Door het exact meten van hele kleine verschillen in zwaartekracht krijgen we beter inzicht in wat zich in de ondergrond bevindt. Quantumsensoren

zullen beweging en versnelling veel beter kunnen registreren, waardoor objecten, ook zonder GPS, veel preciezer gelokaliseerd kunnen worden in een ruimte.

Lasers worden nauwkeuriger en energiezuiniger, omdat quantum-sensoren ook kleine hoeveelheden teruggekaatste lichtdeeltjes kunnen registreren. Dat heeft gevolgen voor het herkennen van eigenschappen van vloeistoffen en materialen: die kunnen wellicht op den duur veel sneller en goedkoper worden gemeten.

Sneller en nauwkeuriger

Omdat quantumtechnologie het mogelijk maakt tijd exacter te meten zal dat leiden tot allerlei merkbaar snellere toepassingen. GPS zal vele malen nauwkeuriger worden door die nauwkeurige tijdmeting. De quantumsensoren maken snellere klokpulsen mogelijk (oscillatoren), en daarmee snellere timing van het uitvoeren van commando's door processoren en snellere informatie-uitwisseling tussen de componenten van computers, telefoons en allerlei andere apparatuur.

De betere synchronisatie maakt ook snellere informatie-uitwisseling tussen systemen mogelijk in de bedrade en draadloze telecom-netwerken. Met deze nauwkeurigere sensoren kunnen de afmetingen van chips mogelijk nog verder worden teruggeschroefd. Wellicht dat deze sensoren zullen leiden tot een nieuwe generatie gevoelige — en technisch gezien veel eenvoudiger en robuustere — antennes.

Tijdpad: De ontwikkeling van deze sensoren die gebruik maken van quantumtechnologie gaat erg snel. Sommige toepassingen (zoals quantumklokken) komen nu al op de markt.⁴³ Veel van de quantumsensoren die eigenschappen meten zijn in ontwikkeling in laboratoria.

43 Ortt, R. (2020). *De Technologie-monitor 2020 Quantumtechnologie*. Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag. - <https://stt.nl/nl/toekomstverkenningen/97-de-technologie-monitor-2020-quantumtechnologie/nationale-technologie-monitor-2020-quantumtechnologie>.

Quantumnetwerken

Op het gebied van veiligheid en communicatie zal de volgende decennia gaandeweg een nieuwe functionaliteit worden toegevoegd aan netwerken die we nu kennen (via glasvezel, door de lucht en/of via de satelliet). Hierdoor kunnen we, als dat nodig is, veiliger hoog-vertrouwelijke informatie uitwisselen. Op dit moment is er veel aandacht voor het vertrouwelijk kunnen uitwisselen van encryptiesleutels: Quantum Key Distribution.

Ook voor authenticatie en autorisatie (het met zekerheid vaststellen van de identiteit van ontvanger en verzender en de machines die zij gebruiken) bieden quantumnetwerken mogelijkheden.

Robuuste maatregelen

Het is goed te bedenken dat vertrouwelijkheid tijdens het transport van informatie en het met meer zekerheid kunnen vaststellen van de identiteit van de zender en ontvanger niet voldoende zijn om vertrouwelijkheid van informatie-uitwisseling te waarborgen. Maar quantumtechnologie maakt wel weer nieuwere, meer robuuste maatregelen mogelijk in een steeds complexer geheel van maatregelen.

Quantumcommunicatie zal het op den duur ook mogelijk maken om quantumcomputers te koppelen tot een grotere quantumcomputer en distributed quantumcomputing.

Tijdpad: Deze communicatietoepassingen voor de veilige uitwisseling van informatie (Quantum Key Distribution) zullen de komende jaren op de markt komen of zijn in een experimenteel stadium (TRL 4-6). Standaardisatie van veilige uitwisseling van encryptiesleutels is in een vergevorderd stadium.⁴⁴ Het laten samenwerken van processoren van quantumcomputers via netwerken zal nog langer op zich laten wachten.

44 <https://www.standict.eu/discussion-groups/quantum-computing/297/towards-european-standards-quantum-technologies>

Quantumcomputers

De belofte van quantumcomputers is dat een aantal specifieke problemen met de quantumcomputer veel sneller kunnen worden doorgerekend dan klassieke computers. Daarbij komen vier typen toepassingen vaak aan de orde:

- **Het simuleren van het gedrag van atomen**

Het simuleren van het gedrag van de meest eenvoudige atomen is al snel te complex voor huidige computers. Met kan het gedrag van moleculen en atomen wel worden gesimuleerd (voor medicijnen en materiaalontwikkeling en voor allerlei chemische en biologische processen).

- **Het sneller oplossen van specifieke vraagstukken**

Quantumcomputers kunnen bepaalde vraagstukken sneller oplossen. Denk aan optimaliseringsvraagstukken, waarbij er veel verschillende oplossingen mogelijk zijn, die elk allemaal moeten worden doorgerekend. Voorbeelden hiervan zijn verkeer, logistiek, de financiële sector en de zorg. Ook het doorzoeken van grote ongestructureerde datasets kan wellicht sneller met quantumcomputers.

- **Het snel breken van encryptie van digitale communicatie**

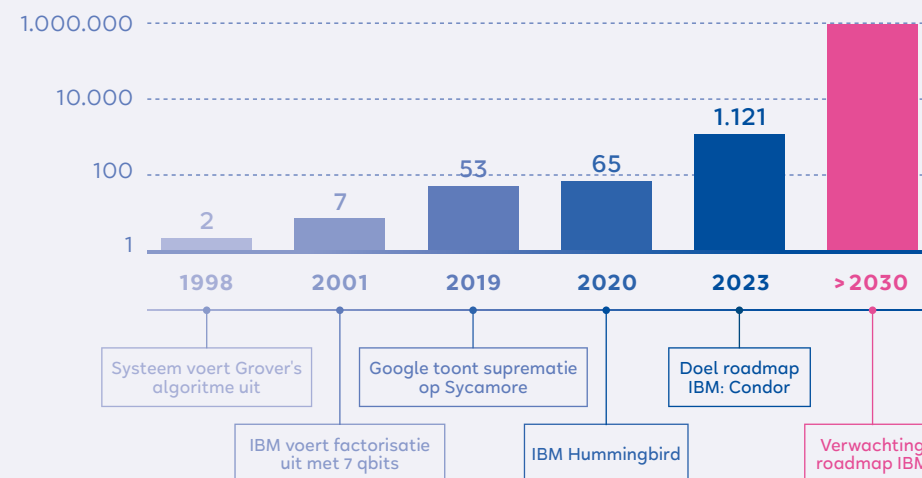
De encryptie-algoritmes die nu gangbaar zijn ontleen hun kracht aan rekenkundige problemen die zonder de kennis van de sleutel niet efficiënt zijn op te lossen. Echter, enkele rekenkundige problemen die de huidige computers nu niet kunnen oplossen zijn straks wel op te lossen door quantumcomputers. Dit betekent dat een groep encryptie- (en authenticatie-) algoritmes die we momenteel veel gebruiken niet meer veilig is in het tijdperk van de quantumcomputer.

- **Machine Learning**

Op het gebied van Artificial Intelligence (AI) zal Machine Learning baat hebben bij quantumcomputers.⁴⁵

45 Neumann, N., Phillipson, F. & Versluis, R. *Machine learning in the quantum era*. Digitale Welt 3, 24-29 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42354-019-0164-0>.

Trend aantal qubits in quantum computing (illustratief)



Figuur o8 Aantal qubits in quantumcomputers (>10.000 qubits zijn nodig voor de eerste simpele toepassingen) Bron: Birch (2021)

Tijdpad: (zie Figuur o8) Op dit moment zijn er kleine quantumcomputers beschikbaar voor experimenteel gebruik en om ervaring op te doen met de eigenschappen van deze computers. Voordat serieuze toepassingen van de quantumcomputer mogelijk worden, moeten er nog grote doorbraken plaatsvinden: op het gebied van rekenkracht maar ook basale zaken als quantumgeheugen en het opslaan van data. De elektronica die nodig is om een quantumcomputer aan te sturen en in te bedden is nog volop in ontwikkeling. Ook op het gebied van algoritmes en software wordt wereldwijd nog hard gewerkt.

Toch is ook deze constatering over quantumcomputing niet helemaal waar: er zijn ook manieren om de quantumcomputer als een soort heuristisch te gebruiken om bepaalde problemen op te lossen. Dat wil zeggen: als een handigheid om snel tot een resultaat te komen zonder oplossingen helemaal door te hoeven rekenen. Dat type toepassingen ligt eerder binnen bereik.

Quantumveilige encryptie

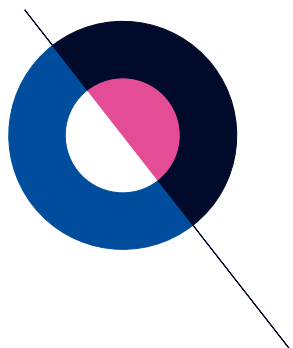
Ook al duurt het nog zeker een decennium voordat quantumcomputers bruikbaar zijn, toch moet de samenleving nu al anticiperen op de komst van deze computers. Het is namelijk bewezen dat quantumcomputers de huidige veel gebruikte vormen van encryptie kunnen breken. Gelukkig is het zo dat we geen quantumrekenkracht nodig hebben om quantumveilige encryptie te gebruiken. De zwakheden in de huidige vormen van encryptie kunnen worden opgelost zonder quantumcomputers te gebruiken.

Veel van de informatie die langer dan 10 jaar vertrouwelijk moet blijven moet daarom nu al quantumveilig worden versleuteld. Apparaten en machines die een levensduur hebben van langer dan tien jaar zullen nu al uitgerust moeten worden met encryptiemethoden die quantumveilig zijn. Denk aan de geldautomaten in de straat, de bruggen en sluizen in de openbare ruimte of de archieven. De standaardisatie van quantumveilige public-key encryptiemethoden door NIST⁴⁶ (het Amerikaanse instituut voor technische standaarden) zit in de conceptuele fase. De komende jaren zullen deze methoden in allerlei diensten en producten worden toegepast.

De overgang naar nieuwe vormen van encryptie is voor organisaties een belangrijk aandachtspunt: sommige organisaties moeten nu al gaan samenwerken met andere organisaties in de sector. Vooral rondom de al eerder genoemde geldautomaten, apparatuur in de openbare ruimte en archieven is het zaak snel tot *best practices* en richtlijnen te komen. Andere organisaties moeten informatie zo gaan versleutelen dat deze op een veilige manier kan worden herversleuteld als dat nodig is. De kennis en middelen zullen niet voor iedere organisatie beschikbaar zijn en voor veel van deze ontwikkelingen zal nauwere samenwerking nodig zijn.

“QUANTUMSENSOREN ZULLEN
TOEPASSING VINDEN IN PROFESSIONELE
APPARATUUR IN ALLERLEI DOMEINEN,
ZOALS ZORG, LOGISTIEK, BOUW
EN TELECOM.”

⁴⁶ <https://csrc.nist.gov/Projects/post-quantum-cryptography/post-quantum-cryptography-standardization>



Colofon

Met dank aan QDNL, die de opdracht gaf aan ECP | Platform voor de InformatieSamenleving om de EQTA te ontwikkelen. En de werkgroep met belanghebbenden en experts, onder leiding van Prof. Bart Schermer (Universiteit Leiden, Considerati) en Daniël Frijters (ECP), die de EQTA vorm gaven.

Redactie: Ester Schop, *Lees-t.nl*
Ontwerp: Frank Westenberg
Druk: Veldhuizen grafisch effect
Fotografie: Marieke de Lorijn
Eric Brinkhorst
Anne Reitsma



Centre for Quantum and Society

Wilt u ...

- ... deelnemen aan onze workshops, denktanks en/of projecten?
- ... ons uitnodigen om te spreken op uw event?
- ... de ethische, juridische en maatschappelijk aspecten verkennen van uw usecase?
- ... kennis delen over quantum of over ethische, juridische en maatschappelijke aspecten?
- ... verkennen wat quantum kan betekenen voor uw domein?

Neem contact op!

cqs@quantumdelta.nl