

## 1. **Titel van MJP: Nationale Agenda Quantumtechnologie**

Nieuw programma dat momenteel uitgewerkt wordt (gereed zomer 2019)

2. *Tot welk(e) van de 8 cluster(s) van technologieën behoort dit MJP: Quantum technologies*
3. *Welke sleuteltechnologie(ën) staa(t)n centraal: quantum technologies:*  
Technologie gebaseerd op de elementaire quantum mechanische verschijnselen "superpositie" en "verstregeling" en alle aanpalende technologieën die nodig zijn om de toepassingen te realiseren. Het gaat hierbij om de toepassingsgebieden als gedefinieerd in het European Flagship Quantum Technologies<sup>1</sup>: quantum computing, quantum communication, quantum sensing en metrology en quantum simulation. Dit vraagt om multidisciplinaire inzet vanuit natuurkunde, wiskunde, informatica incl. AI en machine learning, materiaalkunde, elektrotechniek, chemische procestechnologie, design & social sciences.
4. *Positie NL: Wat is de relatieve positie van NL in deze technologie(ën) in EU en mondiaal?*  
Al decennia loopt Nederland wetenschappelijk voorop met quantum toponderzoek in Delft, Eindhoven, Amsterdam en Leiden en kan met recht gezien worden als een van de top quantum hotspots in de wereld<sup>2</sup>. QuTech is wereldwijd uniek door haar kwaliteit, volume en combinatie van wetenschappelijk en toegepast onderzoek en bovendien in 2014 reeds verkozen tot Nationaal Icoon.  
In de laatste jaren is het veld in een internationale stroomversnelling geraakt door grote investeringen van Tech companies en overheden wereldwijd. Mede dankzij vroegtijdige support vanuit de overheid en kennispartners heeft Nederland tot nu toe kunnen profiteren van deze groei en trekt talent, startups en bedrijven als Intel, Microsoft, Bosch, KPN en Shell aan. Ook in het Europese Flagship programma speelt Nederland een vooraanstaande rol. Het Elsevier rapport 'Kwantitatieve analyse sleuteltechnologieën'<sup>3</sup> bevestigt de leidende positie van NL met een FWCI waarde van ca. 1,7 ten opzichte van het wereldgemiddelde van ca. 0,6.
5. *Korte beschrijving van voorgesteld meerjarenprogramma voor onderzoek en ontwikkeling*  
Quantum technologie benut natuurverschijnselen uit de quantum mechanica in concrete toepassingen. Deze natuurverschijnselen bieden fundamenteel nieuwe mogelijkheden die een 'gamechanger' kunnen betekenen in tal van maatschappelijke en economische sectoren. Quantum computers bieden de mogelijkheid om rekenproblemen op te lossen die buiten de capaciteit van klassieke ICT liggen, b.v. voor nieuwe materialen, chemie, logistieke processen en machine learning. Maar ook toepassingen in sensoren, simulatoren, communicatie en metrologie zijn veelbelovend. Nederland doet op een aantal van deze velden mee in de wetenschappelijke en technologische voorhoede. Om aan de wereldtop te blijven en de maatschappelijke en economische kansen te benutten is het noodzakelijk om nationale R&D testplatforms te ontwikkelen en langjarig in te zetten op de gehele keten van onderwijs, onderzoek, innovatie en ondernemerschap. Dit vraagt om een integrale nationale agenda die het veld verbindt en inspeelt op gezamenlijke doelen en uitdagingen. De "window of opportunity" hiervoor is beperkt, ook gelet op de inzet in andere landen (b.v. UK, Duitsland, Zweden, China, VS).  
Op dit moment wordt de Nationale Agenda Quantum Technologie uitgewerkt door betrokken partijen waarbij input en draagvlak vanuit heel Nederland wordt gezocht<sup>4</sup>. Naast een breed onderzoeksprogramma, zijn ook een maatschappelijk debat, nationale testbeds, ecosysteem- en marktontwikkeling en een fysiek "house of quantum" onderdeel van de agenda. Ook is een omvattende human capital agenda nodig voor het aantrekken, opleiden en behouden van technisch ondernemend talent voor deze nieuwe industrie. Om de brug naar de markt te slaan worden op drie nationale testbeds concrete "use cases" voor de topsectoren en maatschappelijke missies uitgediept en ingezet op korte termijn toepassingen van ondermeer Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ) computers, Programable Analogue Quantum Simulators (PAQS), en een quantum internet.
6. *Ecosysteem: Welke clusters, kennisinstellingen, overheden en private partijen maken deel uit van het ecosysteem rondom deze technologie(ën) en onderschrijven dit MJP?*  
- Delft: QuTech vormt de nucleus van het nationale quantum-veld. Het missie gedreven onderzoeksinstituut van TUD en TNO wordt mede gefinancierd door HTSM, EZK, OCW, en NWO en werd recent door een review commissie o.l.v. Robbert Dijkgraaf met

---

<sup>1</sup> [Quantum Manifesto for EU Quantum Flagship, mei 2016](#)

<sup>2</sup> [Birch consultants Q-campus background study, oktober 2018](#)

<sup>3</sup> [Elsevier studie, juni 2018](#)

<sup>4</sup> [videoclip inloopdag, april 2019](#)

- uitzonderlijk lovende beoordelingen tot 3x excellent beoordeeld<sup>5</sup>. Aangesloten private partijen zijn onder meer Microsoft, Intel, KPN en ABN-AMRO en QuTech leidt een Quantum Internet consortium in het kader van het Flagship, met ook een link naar quantum networks in space waar ESA/ESTeC in Noordwijk aan werkt. Onder de vlag van Q-campus ontstaat rondom QuTech een kenniscluster waar ook bedrijven, start-ups en andere kennispartijen onderdeel van uitmaken. Hier wordt ook door Innovation Quarter, IBM en TNO ingezet op een "field lab" om use cases voor quantum computers uit te werken, met de Watersector als eerste casus. De Q-campusontwikkeling wordt breed gesteund door nationale stakeholders en lokale overheden<sup>6</sup>.
- In Amsterdam is in 2015 door CWI, UvA and VU het QuSoft research centre gelanceerd, dat met ca. 50 onderzoekers onderzoek doet naar quantum algoritmes en software. QuSoft werkt o.a. samen met Bosch en ABN AMRO, is een leidende partij in het Europese Quantum Software initiatief<sup>7</sup> en leidt een flagship consortium op het terrein van Atomic Clocks.
  - In Eindhoven is in 2017 het Center for Quantum Materials and Technology (QT/e) gestart. Met dit center bundelt de TU Eindhoven haar expertises op dit domein, o.a. met toonaangevende groepen op het gebied van post-quantum cryptografie, quantum simulatoren en quantum materialen.
  - In Leiden, Nijmegen en Twente zijn sterke quantumgroepen op onder andere quantum optische systemen, quantum informatie, software en machine learning. Leiden is onlangs een 1ME project gestart met Shell voor toepassingen in chemie.
  - Bovenstaande clusters werken samen o.m. op quantum software (19ME Zwaartekrachtprogramma QuSoft, QuTech, Leiden) en quantum computing (15ME ERC Synergy Leiden, Delft). Ook is quantum een belangrijke pijler in de NWA route quantum/nanorevolutie. Hierbij zijn naast alle universiteiten ook maatschappelijke organisaties zoals het Rathenau Instituut, bedrijven en de departementen MinDEF/J&V betrokken.
7. *Organiserend vermogen*: Een breed samengestelde nationale kerngroep met het voornemen zich te verenigen in een stichting treedt op als penvoerder namens de onder 6. genoemde partijen
8. *Kans op maatschappelijke impact op korte en lange termijn*: Op welke wijze draagt dit MJP bij aan de vier thematische Kennis- & Innovatie agenda's?  
Quantum Technologies is een enabler van oplossingen voor grote maatschappelijke uitdagingen, waaronder in het bijzonder:
1. Energie transitie en duurzaamheid (lange termijn):
    - a. ontwikkeling van nieuwe materialen voor energie opwekking en opslag
    - b. energie distributie en transport
  2. Landbouw, water en voedsel: use case Rijkswaterstaat, quantum chemie/kunstmest, kunstmatige fotosynthese, quantum sensing voor in-situ monitoring en geodesie.
  3. Gezondheid en zorg: Ontwikkeling van nieuwe medicijnen eerst d.m.v. quantum simulatie en later m.b.v. quantum computing, nieuwe diagnostiek (quantum MRI).
  4. Veiligheid: (defensie & civiele toepassingen als de financiële sector) op korte termijn cyberveiligheid, waaronder post-quantum cryptografie, door quantum technologie beveiligde communicatie op het land en in de ruimte, GPS, netwerksynchronisatie met atoomklokken. Op langere termijn logistiek en communicatie voor genetwerkt optreden en quantum radar. Quantum-veilige authenticatie van kritieke infrastructuur.
9. *Kans op economische impact op korte en lange termijn*:  
De mondiale marktomvang voor quantum technologie wordt ingeschat op 60 miljard dollar over 20 jaar. Het aantal banen in de regio Zuid Holland is door Birch becijferd op 7000+ in 2030, waarvan 25% op MBO niveau. Voor andere regio's zijn nog geen analyses gedaan, maar worden op termijn vergelijkbare scenario's voorzien. Ook de start-up ontwikkeling zit in de lift: in de laatste jaren zijn er diverse bedrijven gestart zoals Delft circuits, Q-blox, Qu&co, Quiz en ook Startupdelta is nauw betrokken bij de agenda. Uitvoering van de agenda zorgt voor versnelling van de economische activiteit in Nederland, met name door de ontsluiting van grote nationale testbeds voor quantum computers, internet en simulatoren (KAT projecten). Deze grootschalige projecten fungeren als "launching customer" voor starters en MKB en bedrijven en publieke eindgebruikers kunnen experimenteren met nieuwe toepassingen.

<sup>5</sup> [Midterm review QuTech, april 2019](#)

<sup>6</sup> [Adhesiebrief Quantum Campus, oktober 2018](#)

<sup>7</sup> [Quantum Software Manifesto, november 2017](#)

10. *Krachtenbundeling*: Met welke andere nationale, regionale, Europese en/of internationale (inhoudelijke) initiatieven en programma's wordt samengewerkt of is het voornemen om samen te werken?

- NWA, EU Flagship, Quanterra, strategische partnerships QuTech, Q-campus, QuSoft, QT/e, Photon Delta (Fotonica), Amsterdam Science Park, AI initiatief, Nanolab, ESA/ESTeC, US Quantum Initiative, Japan

11. *Cross-over karakter*: Op welk(e) snijvlak(ken) van wetenschaps- en technologievelden en bedrijfstakken zullen innovaties plaatsvinden? Welke sleutelmethode(n) uit de alfa, bèta, gamma en engineering disciplines zijn hierbij essentieel?

Innovaties in quantumtechnologie zullen primair plaatsvinden op het snijvlak van hightech systems and materials & ICT met op de lange termijn toepassingen in legio sectoren zoals het ontwikkelen van nieuwe materialen en medicijnen, complexe modellen voor klimaatverandering, de financiële sector en logistiek, cybersecurity en kunstmatige intelligentie en chemie.

Met het volwassen worden van de technologie, zullen naast de pure wetenschap ook vaardigheden op het gebied van toegepaste wetenschap en systeemintegratie belangrijker worden. Omdat quantum technologie in potentie een grote impact heeft op de maatschappij, is het ook belangrijk om reeds nu samen te werken met wetenschappers en instanties uit sociale, ethische en maatschappelijke disciplines.

12. *Indicatie van benodigde gemiddelde jaarlijkse financiering en commitments voor periode 2020-2023<sup>8</sup>*

Bron	Totaalbedrag (in mln EUR per jr)	Waarvan reeds gecommitteerd (in ME/jaar)	Waarvan te mobiliseren
<i>Private middelen</i>	21	15 mln. (Partnerships Intel, MSFT, KPN, Shell, Bosch, ABN-AMRO; indicative)	6
<i>PPS toeslag</i>	9	2 (TNO) 2,5 (TUD) 0,5 (Leiden, Amsterdam)	2 (standaard 30%) 2 (top-up voor marktontwikkeling en use cases)
<i>TO2 middelen</i>	9	3,5 QuTech TNO/PC 1 TNO aanpalend	2 in-kind business development 2,5 in-cash (cleanrooms en demonstrator)
<i>NWO</i>	23	2,5 QuTech PC 6 QuTech/Delft grants 2 ZK 1,5 QuSoft grants 6 QT/e, Leiden en overig	5 (NWA basic science programma, demonstrators, joint calls met VS en Japan)
<i>Universiteiten/hogescholen</i>	6	5 QuTech/TUD PC 1 UvA/CWI structureel	1 te overleggen met VSNU, eerste geldstroom nodig voor educatie
<i>Regionale middelen (provincie, gemeente)</i>	1,5		1 (regiodeal Q-campus) 0,5 (Amsterdam Science Park) 0,5 (Brainport regio)
<i>Departementale middelen</i>	5,5	1 (EZK, TNO), 0,5 (Def)	4 (quantum voor missies) (J&V, I&W, Def, EZK)
<i>EU middelen</i>	24	4 flagship Delft en AMS 12 mln EU/ERC, schatting Birch 3 QT/e, Leiden en overig	5 nieuwe calls en initiatieven, o.a. EU com. infrastructure
<i>ROMs en InvestNL</i>	3	Nog niets	3 (infra, house of quantum)
<b>Totaal bedrag (in mln EUR per jr)</b>	103,5	69	~ 34,5 gesplitst in: 18,5 Rijk (TO2, NWO, PPS, departementen) + 16 cofunding (private, EU, regio)

<sup>8</sup> Deze "te mobiliseren" bedragen zijn nog indicatief, waarbij wordt toegewerkt naar "letters of support / intention" van de publieke financiers, met uitzondering van de EU waar het gaat om projecties van uitkomsten van calls. Voor de private bedragen wordt verkend of een gezamenlijke letter of support/intent haalbaar is.