



>Retouradres Postbus 16375 2500 BJ Den Haag

Universiteit van Amsterdam
T.a.v. het College van Bestuur
Postbus 19268
1000 GG AMSTERDAM

**Hoger Onderwijs en
Studiefinanciering**
Rijnstraat 50
Den Haag
Postbus 16375
2500 BJ Den Haag
www.rijksoverheid.nl



Onze referentie
41362389

Bijlagen
1

Datum 6 oktober 2023
Betreft Besluit macrodoelmatigheid wo masteropleiding Quantum Computer
Science

*Als u belang hebt bij dit besluit,
dan kunt u hiertegen binnen 6
weken, gerekend vanaf de
verzenddatum, bezwaar maken.
Stuur uw bezwaarschrift naar
DUO, Postbus 30205, 2500 GE
Den Haag. U kunt uw bezwaar
ook digitaal indienen op
www.bezwaarschriftenocw.nl.*

Geacht bestuur,

Met de brief van 30 juni 2023, door de Commissie Doelmatigheid Hoger Onderwijs (hierna: CDHO) ontvangen op 30 juni 2023, hebt u mij het voornemen voorgelegd om de wo masteropleiding Quantum Computer Science als bekostigde opleiding te verzorgen in Amsterdam.

Advies CDHO

De CDHO heeft mij bij brief van 11 september 2023, kenmerk 2023/081, positief geadviseerd over uw aanvraag. Dit advies, dat integraal deel uitmaakt van dit besluit, treft u hierbij aan.

Besluit

Gelet op het bovengenoemd advies van de CDHO, het bepaalde in de Wet op het hoger onderwijs en wetenschappelijk onderzoek (hierna: WHW) en in de Regeling macrodoelmatigheid hoger onderwijs (hierna: Regeling), heb ik besloten in te stemmen met uw voornemen om de wo masteropleiding Quantum Computer Science als bekostigde opleiding te verzorgen in Amsterdam. Met toepassing van artikel 6.2, derde lid, van de WHW, beperk ik mijn instemming tot de voltijdvariant.

Beoordelingskader

De wettelijke grondslag voor mijn besluitvorming is gelegen in artikel 6.2 van de WHW. Voorts is de Regeling leidraad geweest voor mijn afwegingen.

Motivering

Overeenkomstig het advies van de CDHO concludeer ik dat uw aanvraag, voldoet aan de criteria a en b van artikel 4, eerste lid, van de Regeling. Voor de nadere motivering verwijs ik u naar het genoemde advies van de CDHO.

Croho-procedure

Ingevolge artikel 6.2, negende lid van de WHW vervalt dit besluit indien de opleiding niet binnen tien maanden na dagtekening van dit besluit is geregistreerd in het Croho.

Registratie binnen die termijn is niet eerder mogelijk dan nadat de NVAO een positief besluit heeft genomen in het kader van de toets nieuwe opleiding. In verband met de geldigheidsduur van dit besluit, adviseer ik u zo spoedig mogelijk bij de NVAO een aanvraag voor de toets nieuwe opleiding in te dienen. Voor de registratie van uw opleiding kunt u gebruik maken van a Croho. Mocht u vragen hebben over de registratie, dan kunt u contact opnemen met ssg@duo.nl.

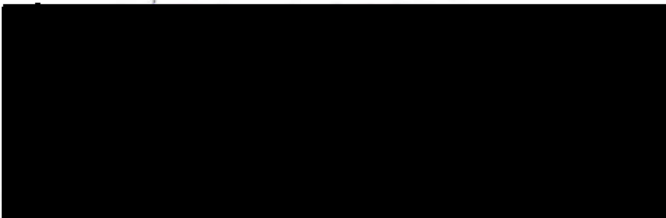
Onze referentie
41362389

Ik teken hierbij het volgende aan. Artikel 7.5, eerste lid, van de WHW bepaalt dat de studielast van een masteropleiding in het wetenschappelijk onderwijs 60 studiepunten bedraagt. U hebt, met inachtneming van artikel 7.5d, onderdeel a, van de WHW de studielast van de opleiding bepaald op 120 studiepunten. Dit betekent dat u voor de (nominale) periode dat de opleiding langer duurt dan 1 jaar overeenkomstig artikel 7.51a van de WHW voor de student een financiële voorziening dient te treffen. Over die periode ontvangt u geen bekostiging. Desgewenst kunt u, na de toets nieuwe opleiding en onder overlegging van een advies omtrent de duur van de opleiding van de NVAO, een apart verzoek indienen bij de minister tot bekostiging van de gehele opleiding.

Een afschrift van deze brief is verzonden aan de CDHO, de NVAO, DUO Groningen, de Inspectie van het Onderwijs en de UNL.

Met vriendelijke groet,

de minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap,
namens deze,
de directeur Hoger Onderwijs en Studiefinanciering,



Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap

T.a.v. de Minister

Dhr. dr. R.H. Dijkgraaf

Postbus 16375

2500 BJ DEN HAAG

Postadres

Postbus 85498

2508 CD Den Haag

Bezoekadres

Parkstraat 83

2514 JG Den Haag

T: 070 8505300

W: www.cdho.nl

E: info@cdho.nl

Administratieve informatie

Onderwerp

Nieuwe opleiding

Universiteit van Amsterdam

Voltijd wo master

Quantum Computer Science

Amsterdam

Ons Kenmerk

2023/081

Datum

11/09/2023

Geachte heer Dijkgraaf,

Op 30/06/2023 heeft de Commissie Doelmatigheid Hoger Onderwijs het voornemen ontvangen van de Universiteit van Amsterdam om de wo master Quantum Computer Science als bekostigde opleiding te verzorgen te Amsterdam (brief van 30/06/2023 met kenmerk 2023cu0442). De aanvraag was voorzien van alle voor de beoordeling benodigde gegevens en is door de commissie in behandeling genomen. De commissie heeft omwille van de zorgvuldige besluitvorming op 16/08/2023 de beslistermijn verlengd tot 06/11/2023.

Advies Commissie Doelmatigheid Hoger Onderwijs

Gelet op het hiernavolgende adviseert de commissie u om positief te besluiten op het verzoek van de Universiteit van Amsterdam om de wo master Quantum Computer Science als bekostigde opleiding te Amsterdam te verzorgen. De commissie adviseert daarbij de toestemming te beperken tot de voltijdvariant op grond van art. 6.2 lid 3 van de Wet op het hoger onderwijs en wetenschappelijk onderzoek (WHW).

Beoordelingskader

De wettelijke grondslag voor dit advies is gelegen in art. 6.2 van de WHW. Voorts heeft de Regeling macrodoelmatigheid hoger onderwijs van 20 juni 2018, verder te noemen de Regeling, voor de commissie als leidraad gediend. Het beoordelingskader treft u in de bijlage bij dit advies aan.

Omschrijving van de aanvraag

De aanvrager wil de opleiding Quantum Computer Science in Amsterdam vestigen. Het gaat om een Engelstalige wo master die de aanvrager in het Croho onderdeel Natuur wil laten registreren. De voorgenomen opleiding omvat 120 studiepunten en de aanvrager wil deze in voltijdvorm

aanbieden.

De opleiding leert studenten om software, protocollen en algoritmes te ontwikkelen voor quantumcomputers en quantumnetwerken. De opleiding omvat vier gezamenlijke vakken (quantum computing, quantum hardware, quantum information theory en quantum in society), ruimte voor (overwegend quantum-gerelateerde) keuzevakken en een afsluitend onderzoeksproject.

De opleiding is toegankelijk voor studenten met een afgeronde wo bacheloropleiding Wiskunde, Natuurkunde (en Sterrenkunde), Informatica of Kunstmatige Intelligentie. De aanvrager geeft aan dat voorkennis van quantummechanica niet noodzakelijk is, maar dat studenten voldoende onderlegd moeten zijn in lineaire algebra en wiskundig redeneren. De aanvrager beoogt een toelatingscommissie te laten toetsen of dit het geval is.

Afgestudeerden van de opleiding kunnen IT-gerelateerde functies bekleden waar quantumtechnologie in kan worden toegepast, zoals quantum algorithm developer en quantum software developer.

Motivering

De aanvraag voldoet naar mening van de commissie aan de criteria a en b in art. 4 lid 1 van de Regeling.

Beoordeling criterium a

De aanvrager stelt dat de wo master Quantum Computer Science aansluit op een arbeidsmarktbehoefte in combinatie met een maatschappelijke en een wetenschappelijke behoefte.

Beoordeling arbeidsmarktbehoefte

Ter onderbouwing van de arbeidsmarktbehoefte beroept de aanvrager zich op de prognoses voor opleidingstypen en beroepsgroepen zoals deze zijn opgenomen in ROA's Arbeidsmarktinformatiesysteem (AIS), het rapport 'De arbeidsmarkt naar opleiding en beroep tot 2026' van het ROA (2021), het rapport 'The next tech revolution: quantum computing' van McKinsey & Company (2020), het rapport 'Quantum Technology Monitor' van McKinsey & Company (2022), het rapport 'Economic impact of Quantum in The Netherlands' van Quantum Delta Nederland (2020), het rapport 'Het Nederlandse Quantum Ecosysteem' van Birch (2018), het rapport 'Building a Q-Campus: Realising a Quantum Ecosystem in Delft' van Birch (2018), het nieuwsbericht 'Extra impuls van 1,35 miljard euro voor innovatie vanuit Nationaal Groeifonds' van de Rijksoverheid (9 april 2021), het rapport 'Projectvoorstel voor het Nationaal Groeifonds' van Quantum Delta Nederland (2021), het rapport 'The Quantum Ecosystem and Its Future Workforce' van Venegas-Gomez in PhotonicsViews (december 2020), veertien interviews met werkgevers die door de aanvrager zijn uitgevoerd in het kader van de voorgenomen opleiding (ongedateerd) en negen interviews betreffende de aanvraag voor de opleiding Quantum Information Science & Technology (ongedateerd).

De aanvrager beschouwt twee opleidingstypen die zijn opgenomen in ROA's AIS als relevant voor de voorgenomen opleiding Quantum Computer Science, zijnde de opleidingstypen master informatica en master wis-, schei-, natuurkunde en geologie. De commissie acht het opleidingstype master wis-, schei-, natuurkunde en geologie onvoldoende relevant omdat hierin een groot aantal niet verwante opleidingen is opgenomen en slechts enkele aanverwante opleidingen. De commissie laat de prognoses voor dit opleidingstype daarom buiten beschouwing.

De commissie acht met de aanvrager het opleidingstype master informatica ten dele relevant omdat de verwante opleidingen Computational Science, Computing Science en Artificial Intelligence hierin zijn opgenomen naast een aantal niet en nauwelijks verwante opleidingen. ROA typeert de vooruitzichten in 2026 voor afgestudeerden van dit opleidingstype als goed en verwacht grote knelpunten in de toekomstige personeelsvoorziening (zie Tabel 1).

Tabel 1. Arbeidsmarktprognoses opleidingstype master informatica

Opleidingstype	Arbeidsmarktprognose variabele Indicator	Aantal	Totaal % 6 jr.	Gem. jaarlijks %	Typering
> > Master - informatica	verwachte uitbreidingsvraag tot 2026	4100	11	1.7	erg hoog
> > Master - informatica	verwachte vervangingsvraag tot 2026	6500	17	2.6	gemiddeld
> > Master - informatica	verwachte baanopeningen tot 2026	10600	27	4.1	gemiddeld
> > Master - informatica	verwachte instroom van schoolverlaters tot 2026	8500	22	3.3	gemiddeld
> > Master - informatica	ITKP toekomstige knelpunten personeelsvoorziening in 2026	0.95			groot
> > Master - informatica	ITA toekomstige arbeidsmarktsituatie in 2026	0.95			goed

Bron: ROA, AIS

De aanvrager beroept zich tevens op de prognoses van het ROA voor de beroepsgroepen software- en applicatieontwikkelaars en databank- en netwerksspecialisten. De commissie kent in beginsel meer gewicht toe aan de prognoses voor opleidingstypen omdat daarin de uitstroom uit een cluster verwante opleidingen wordt gerelateerd aan verwachte baanopeningen voor dit type afgestudeerden.

De commissie acht met de aanvrager de beroepsgroep software- en applicatieontwikkelaars relevant omdat afgestudeerden van de voorgenomen opleiding in aanmerking komen voor een substantieel deel van de beroepen binnen deze beroepsgroep, zoals softwareontwikkelaars, applicatieprogrammeurs en systeemanalisten en ICT-adviseurs. Uit de prognose van het ROA blijkt dat er voor deze beroepsgroep grote knelpunten in de toekomstige personeelsvoorziening worden verwacht (zie Tabel 2).

Tabel 2. Arbeidsmarktprognoses beroepsgroep software- en applicatieontwikkelaars

Beroepsgroep	Arbeidsmarktprognose variabele Indicator	Aantal	Totaal % 6 jr.	Gem. jaarlijks %	Typering
Software- en applicatieontwikkelaars	verwachte uitbreidingsvraag tot 2026	31400	12	1.9	erg hoog
Software- en applicatieontwikkelaars	verwachte vervangingsvraag tot 2026	15900	6	1	erg laag
Software- en applicatieontwikkelaars	verwachte baanopeningen tot 2026	47300	18	2.7	laag
Software- en applicatieontwikkelaars	ITKB toekomstige knelpunten beroepsgroep in 2026	0.802			groot

Bron: ROA, AIS

Daarnaast acht de commissie met de aanvrager de beroepsgroep databank- en netwerksspecialisten ten dele relevant omdat afgestudeerden van de voorgenomen opleiding in aanmerking komen voor een deel van de beroepen binnen deze beroepsgroep, zoals netwerksspecialisten. Zij komen worden echter niet primair opgeleid tot ontwerpers en beheerders van databases of systeembeheerders, hoewel zij waarschijnlijk wel voor dergelijke functies in aanmerking zouden komen. Uit de prognose van het ROA blijkt dat er voor deze beroepsgroep

grote knelpunten in de toekomstige personeelsvoorziening worden verwacht (zie Tabel 3).

Tabel 3. Arbeidsmarktprognoses beroepsgroep databank- en netwerkspecialisten

Beroepsgroep	Arbeidsmarktprognose variabele Indicator	Aantal	Totaal % 6 jr.	Gem. jaarlijks %	Typering
Databank- en netwerkspecialisten	verwachte uitbreidingsvraag tot 2026	8200	11	1.8	erg hoog
Databank- en netwerkspecialisten	verwachte vervangingsvraag tot 2026	8100	11	1.8	laag
Databank- en netwerkspecialisten	verwachte baanopeningen tot 2026	16300	23	3.5	gemiddeld
Databank- en netwerkspecialisten	ITKB toekomstige knelpunten beroepsgroep in 2026	0.832			groot

Bron: ROA, AIS

De aangehaalde informatie uit het rapport 'De arbeidsmarkt naar opleiding en beroep tot 2026' van het ROA (2021) geeft enkel uitleg over de bovenstaande gegevens. De commissie laat deze bron daarom verder buiten beschouwing.

De commissie concludeert dat de prognoses die zijn opgenomen in ROA's AIS voor het opleidingstype en de beroepsgroepen die (ten dele) relevant zijn voor de onderhavige opleiding een positief beeld geven van de arbeidsmarktperspectieven voor afgestudeerden van de voorgenomen opleiding Quantum Computer Science.

De aanvrager verwijst vervolgens naar het rapport 'The next tech revolution: quantum computing' van McKinsey & Company (2020), waarin de economische impact van quantumtechnologie is geanalyseerd. Uit het rapport blijkt de verwachting dat bedrijven in sectoren als energie, financiën en 'geavanceerde industrie' die gebruik maken van quantumcomputers vanaf 2025 significante omzet zullen genereren. Rond 2035 is dit uitgebreid naar meer sectoren. Voor 2030 schat McKinsey het potentieel wereldwijd op 1 biljoen dollar, met name in vijf sectoren van de industrie: (1) financiën, (2) chemie, (3) farma, (4) automotive en (5) telecom, media en technologie. Het rapport 'Quantum Technology Monitor' van McKinsey & Company (2022, p. 9, 48) signaleert dat in de tweede helft van 2022 wereldwijd 1,24 miljard dollar is geïnvesteerd in start-ups door private partijen. Overheden hebben 1,9 miljard dollar geïnvesteerd. De aanvrager geeft aan dat, ondanks de grote bedragen, de groei van de bedrijven is gestagneerd. Een mogelijke verklaring hiervoor is het tekort aan specialisten in het vakgebied: de monitor geeft aan dat er in december 2021 851 vacatures openstonden voor quantumspecialisten, maar dat er in dat jaar slechts 290 afgestudeerden met specifieke kennis van quantumtechnologie waren om deze posities te vervullen. De commissie merkt op dat er inmiddels een nieuwe monitor is gepubliceerd ('Quantum Technology Monitor' van McKinsey & Company (2023, e.g. p. 50)) waaruit blijkt dat de krapte iets is afgenomen, maar nog steeds groot is.

De commissie constateert dat de bronnen blijf geven van een grote arbeidsmarktbehoefte aan afgestudeerden van de voorgenomen opleiding.

Ook Quantum Delta Nederland verwacht een groei van de quantumtechnologie. Volgens het door haar uitgebrachte rapport 'Economic Impact of Quantum in The Netherlands' (2020, p. 2, 15, 44) kan Nederland een aandeel hebben van 5 tot 10% van de wereldmarkt in quantumtechnologie. Dit komt neer op een omzet van 0,5 tot 1 miljard euro in 2027 en 1,5 tot 3 miljard euro in 2040. In termen van werkgelegenheid komt dit volgens het rapport overeen met 6.000 tot 12.000 banen in 2027 en 15.000 tot 30.000 banen in 2040. Dit betreft zowel directe als indirecte werkgelegenheid. Het rapport 'Het Nederlandse Quantum Ecosysteem' van Birch (2018, p. 24-25) concludeert dat Nederland een sterke uitgangspositie heeft voor het opzetten van een

"ecosysteem" waarbinnen een quantumsector zich kan ontwikkelen. Om dat vast te houden zijn verdere investeringen en het opleiden, aantrekken en behouden van talent noodzakelijk. In het rapport 'Building a Q-Campus: Realising a Quantum Ecosystem in Delft' van Birch (2018) wordt de verwachting uitgesproken dat het onderzoeksinstituut QuSoft van de aanvrager in 2023 ongeveer 120 fte aan werknemers in dienst kan hebben. De aanvrager geeft aan dat het aantal fte's dat in dienst was in oktober 2022 rond de 75 lag. Bij het onderzoeksinstituut QuTech van de Technische Universiteit Delft is geprognosticeerd dat er circa 350 fte in dienst zouden zijn in 2023; in april van dat jaar waren er ongeveer 300 fte in dienst.

Vervolgens verwijst de aanvrager naar het nieuwsbericht 'Extra impuls van 1,35 miljard euro voor innovatie vanuit Nationaal Groeifonds' van de Rijksoverheid (9 april 2021), waarin wordt aangegeven dat Quantum Delta Nederland in april 2021 615 miljoen euro is toegewezen vanuit het Nationaal Groeifonds. Quantum Delta Nederland geeft in het rapport 'Projectvoorstel voor het Nationaal Groeifonds' (2021, p. 4) aan dat zij met deze financiële steun de ambitie wil waarmaken dat er in 2027 100 start-ups, drie corporate R&D labs en 2000 PhD's en ingenieurs zijn in de quantumsector. Ook wil zij dat er in 2027 jaarlijks 2500 studenten afstuderen in een voor quantumtechnologie relevante opleiding.

De commissie constateert dat deze bronnen laten zien dat Nederland een goede positie heeft in de internationale arbeidsmarkt wat betreft quantumtechnologie en dat er een arbeidsmarktbehoefte bestaat aan afgestudeerden van de voorgenomen opleiding die er mede voor kunnen zorgen dat de groei in deze sector wordt voortgezet.

De wereldwijde arbeidsmarktbehoefte wordt verder onderbouwd op grond van het artikel 'The Quantum Ecosystem and Its Future Workforce' van Venegas-Gomez in PhotonicsViews (december 2020, p. 36-37) waarin de verwachting wordt uitgesproken dat tot ten minste 2040 het aantal banen in de quantumsector sterk zal toenemen. Op dat moment worden er wereldwijd bijna 600.000 banen verwacht voor onder andere natuurkundigen en ICT'ers. Ook laat het artikel zien dat Nederland wereldwijd een aandeel van 2,4% van de quantumbedrijven heeft, hetgeen een relatief groot aandeel is. De commissie constateert dat dit blijkt geeft van een wereldwijd groeiende arbeidsmarkt voor de quantumsector en dat Nederland een belangrijke positie heeft in de quantumsector. Dit geeft een indicatie van een arbeidsmarktbehoefte aan afgestudeerden van de voorgenomen opleiding.

Tot slot verwijst de aanvrager naar veertien interviews met werkgevers die door de aanvrager zijn uitgevoerd in het kader van de voorgenomen opleiding en naar negen interviews die zijn uitgevoerd voor de aanvraag voor de opleiding Quantum Information Science & Technology. Het dossier vermeldt niet wanneer de interviews zijn afgenomen, maar uit de aanvraag voor de opleiding Quantum Information Science & Technology (2022/007) blijkt dat de laatstgenoemde interviews in 2021 zijn afgenomen. Op grond van de beschikbare gegevens acht de commissie het aannemelijk dat de interviews die de aanvrager zelf heeft uitgevoerd op een later moment hebben plaatsgevonden. De namen en functies van de respondenten zijn samen met het bedrijf waar zij voor werken in de bijlagen vermeld. Ook stelt de commissie vast dat de aanvrager enkel interviews van de opleiding Quantum Information Science & Technology heeft betrokken waarvan kan worden gesteld dat de antwoorden ook relevant zijn voor de voorgenomen opleiding.

De aanvrager heeft de respondenten in drie categorieën opgedeeld, te weten (1) universiteiten, (2) quantum software bedrijven en (3) toepassingsgerichte organisaties. De eerstgenoemde groep is overwegend op zoek naar PhD-kandidaten, waar de andere groepen meer op zoek zijn naar onderzoekers, software engineers, programmeurs en consultants. De laatstgenoemde categorie is groot en omvat onder andere banken en adviesbureaus die onderbouwd hebben waarom zij mogelijk afgestudeerden van de voorgenomen opleiding zouden aannemen.

De respondenten in de interviews is gevraagd hoeveel vacatures waar afgestudeerden van de voorgenomen opleiding voor in aanmerking zouden komen zij per jaar verwachten binnen hun organisatie. De universiteiten hebben in het totaal aangegeven jaarlijks 13,5 fte aan (PhD-)posities te verwachten. De quantumsoftwarebedrijven hebben aangegeven jaarlijks 17,5 fte aan functies te verwachten. De toepassingsgerichte organisaties hebben aangegeven jaarlijks 51 fte aan functies

te verwachten. Dit maakt dat er in het totaal over 82 fte aan functies wordt gesproken.

De commissie constateert dat de interviews valide en navolgbaar zijn en dat de antwoorden van de respondenten relevant zijn. Dit inachtnemend constateert de commissie dat de interviews blijken te geven van een arbeidsmarktbehoefte aan afgestudeerden van de voorgenomen opleiding.

De commissie concludeert op grond van het bovenstaande dat de aanvrager heeft aangetoond dat er een arbeidsmarktbehoefte bestaat aan de voorgenomen opleiding Quantum Computer Science.

Beoordeling maatschappelijke behoefte

De aanvrager onderbouwt de maatschappelijke behoefte aan de hand van de volgende bronnen: het 'Coalitieakkoord 2021-2025: Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst' van het kabinet Rutte IV (2021), de 'Nationale Agenda Quantumtechnologie' van de Quantum Delta Nederland (2019), het rapport 'De Potentiële Bijdrage van Technologie aan Maatschappelijke Uitdagingen' van TNO (2018), de nota 'Defensie Industrie Strategie' van het Ministerie van Defensie (2018), de website van de Europese Commissie (digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/quantum) en de website van The European High Performance Computing Joint Undertaking (eurohpc-ju.europa.eu/index_en).

De aanvrager verwijst allereerst naar het 'Coalitieakkoord 2021-2025: Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst' van het kabinet Rutte IV (2021, p. 33), waarin quantumtechnologie is vermeld als één van de sleuteltechnologieën waarin de overheid zal investeren. De 'Nationale Agenda Quantumtechnologie' van de Quantum Delta Nederland (2019, p. 14, 39-46) heeft als doel gesteld Nederland als aanjager en het middelpunt van quantumtechnologie te doen groeien, waarvoor hoogwaardig onderzoek en onderwijs en goede faciliteiten noodzakelijk zijn. De agenda noemt onder andere (1) veiligheid en privacy, (2) energie en duurzaamheid en (3) gezondheid en zorg als gebieden waar quantumtechnologie een belangrijke maatschappelijke rol kan spelen. Verder refereert de aanvrager aan het rapport 'De Potentiële Bijdrage van Technologie aan Maatschappelijke Uitdagingen' van TNO (2018, p. 15-16), waar ook wordt ingegaan op de waarde van quantumtechnologie bij maatschappelijke uitdagingen op het gebied van mobiliteit, gezondheid, energie en veiligheid. De commissie concludeert dat deze bronnen blijken te geven van een maatschappelijke behoefte aan afgestudeerden van de voorgenomen opleiding.

De aanvrager stelt vervolgens dat verschillende ministeries hebben onderzocht welke rol quantumtechnologie in hun beleidsterrein kan spelen en illustreert dit door te verwijzen naar de nota 'Defensie Industrie Strategie' van het Ministerie van Defensie (2018, p. 2-3, 17). Hierin wordt onder meer gesteld dat Nederland niet afhankelijk mag zijn van het buitenland voor zijn verdediging en dat daarvoor een stabiele basis van kennisinstellingen en bedrijven nodig is die ervoor zorgen dat de juiste (militaire) kennis en technologie beschikbaar is. De aanvrager wijst erop dat de bron onder andere refereert aan quantumsensoren en quantum computing en aangeeft dat het Ministerie een rol wil spelen bij de ontwikkeling van deze technologieën. De commissie constateert dat de bron laat zien dat het Ministerie van Defensie belang hecht aan ontwikkeling van quantumtechnologie in het kader van nationale veiligheid.

Tot slot verwijst de aanvrager naar de website van de Europese Commissie (digital-strategy.ec.europa.eu) en de website van The European High Performance Computing Joint Undertaking (eurohpc-ju.europa.eu/index_en), waar wordt aangegeven dat de Europese Commissie het belang van quantumtechnologie onderschrijft voor de Europese economie en dat de industrie moet kunnen voortbouwen op investeringen in nieuw onderzoek. Eén van de initiatieven om de quantumtechnologie in Europa hoog te houden is The European High Performance Computing Joint Undertaking, een samenwerking van de EU, Europese landen en private partijen. De commissie constateert dat er ook op internationale schaal groot belang wordt gehecht aan de maatschappelijke waarde van quantumtechnologie.

De commissie concludeert dat de aanvrager heeft aangetoond dat er een maatschappelijke behoefte bestaat aan de voorgenomen opleiding Quantum Computer Science.

Beoordeling wetenschappelijke behoefte

De aanvrager onderbouwt de wetenschappelijke behoefte aan de hand van de volgende bronnen: de website van het NWO (www.nwo.nl/onderzoeksprogrammas/nationale-wetenschapsagenda/vernieuwing-en-netwerken/routes/materialen-made-holland; www.nwo.nl/onderzoeksprogrammas/nationale-wetenschapsagenda/vernieuwing-en-netwerken/routes/de-quantum/nano-revolutie), de 'Nationale Agenda Quantumtechnologie' van de Quantum Delta Nederland (2019), het rapport 'Building a Q-Campus: Realising a Quantum ecosystem in Delft' van Birch (2018), de website van QuSoft (qusoft.org/2022/11/14/launch-of-eqsi-european-quantum-software-institute-in-paris; qusoft.org/2022/10/05/launch-of-euryqa-project-a-new-european-infrastructure-for-rydberg-quantum-computing), de website van de Europese Commissie (digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/quantum-technologies-flagship) en de website van Quantum Flagship (qt.eu).

De aanvrager stelt op grond van de website van het NWO (www.nwo.nl) dat er twee routes binnen de Nationale Wetenschapsagenda bestaan die aangeven dat quantumtechnologie een belangrijke rol speelt: Materialen-Made in Holland (route 12) en Quantum/nanorevolutie (route 18). Onder de route Materialen-Made in Holland is onder andere aangegeven dat quantummechanica-systemen kunnen helpen om informatieverwerking efficiënt te maken. De route Quantum/nanorevolutie gaat specifiek in op de verschillende toepassingen van quantumtechnologie binnen wat een "nieuwe industriële revolutie" wordt genoemd en vermeldt onder andere quantumcomputing en quantuminternet als mogelijke innovaties waar nog veel onderzoek voor nodig is. Zo moeten er volgens de aanvrager quantum algoritmes en -software voor veilige datacommunicatie worden ontwikkeld.

De aanvrager verwijst verder naar de 'Nationale Agenda Quantumtechnologie' van de Quantum Delta Nederland (2019), die onderdeel uitmaakt van de Kennis- en Innovatieagenda voor de sleuteltechnologieën en gericht is op de ontwikkeling van quantumtechnologie. In de agenda wordt een actielijn uitgezet die erop gericht is doorbraken in onderzoek en innovatie te realiseren. De aanvrager stelt dat de kennis van afgestudeerden van de voorgenomen opleiding vooral relevant is voor de programma's quantumsimulatie, quantumcommunicatie, quantumalgoritmes en post-quantum cryptografie. De commissie volgt de aanvrager in deze stelling en constateert dat de bronnen blijken te geven van een wetenschappelijke behoefte aan afgestudeerden van de voorgenomen opleiding.

Op basis van het rapport 'Building a Q-Campus: Realising a Quantum ecosystem in Delft' van Birch (2018) stelt de aanvrager dat Nederland een relatief groot aandeel heeft in het Horizon 2020-programma op het gebied van quantumtechnologie. Bijna 7% van de projecten heeft een Nederlandse coördinator, waarbij de aanvrager voor bijna 1,3% verantwoordelijk is. De commissie kan deze percentages niet herleiden tot de bron, maar constateert op grond van de gegevens uit het bijbehorende rapport 'Q-campus Background study: In support of "Building a Q-Campus: Realising a Quantum ecosystem in Delft' van Birch (2018, p. 29) dat Nederland een groot aandeel van het onderzoek op het gebied van quantumtechnologie uitvoert en relatief veel beursgeld binnenhaalt op dit onderwerp.

De aanvrager vermeldt verder dat zij via QuSoft (het onderzoekscentrum voor quantumsoftware van de aanvrager) één van de zes deelnemers is van het European Quantum Software Institute, zoals vermeldt op de website van QuSoft (qusoft.org). Tot slot vermeldt de aanvrager dat zij betrokken is bij het onderzoeksprogramma 'Quantum Technologies Flagship' van de Europese Commissie (en zoals besproken op digital-strategy.ec.europa.eu en qt.eu). De aanvrager geeft aan dat deze onderzoeken tevens leiden tot de beschikbaarheid van promotieplaatsen binnen het vakgebied.

De commissie constateert dat onderzoek naar quantumtechnologie ingebed is binnen de organisatie van de aanvrager en dat er internationale onderzoeken plaatsvinden naar relevante technologische ontwikkelingen. Dit inachtnemend constateert de commissie dat de bronnen blijken te geven van een wetenschappelijke behoefte aan afgestudeerden van de voorgenomen opleiding.

De commissie concludeert dat de aanvrager heeft aangetoond dat er een wetenschappelijke behoefte bestaat aan de voorgenoemde opleiding Quantum Computer Science.

De commissie concludeert dat de aanvraag aansluit op een maatschappelijke, een wetenschappelijke en een arbeidsmarktbehoefte. De aanvraag voldoet aan criterium a in art. 4 lid 1 van de Regeling.

Beoordeling criterium b

Vanaf 03/07/2023 is op de website van de CDHO kennisgegeven van het voornemen van de Universiteit van Amsterdam om de wo master Quantum Computer Science in Amsterdam aan te bieden. Hiermee is aan de instellingen voor hoger onderwijs de mogelijkheid gegeven om hun zienswijzen op dit voornemen kenbaar te maken. Er zijn geen zienswijzen ingediend.

De commissie stelt op basis van de afbakening die de aanvrager heeft aangeleverd vast wat het verwante aanbod van de aangevraagde opleiding is. Verwante opleidingen komen inhoudelijk sterk overeen en leiden op tot (min of meer) dezelfde beroepen (uitstroomprofiel(en)). Bij de inhoud wordt gekeken of de kennisgebieden en vaardigheden die in het curriculum van de voorgenoemde opleiding zijn opgenomen overlap vertonen met de bestaande opleidingen. Verder worden de instroomdoelgroep en de onderwijsvariant (voltijd, deeltijd of duaal) meegewogen bij de afbakening. Verwante opleidingen worden dus niet louter bepaald aan de hand van de inhoud van een opleiding en opleidingen met verschillende oriëntaties (zoals hbo en wo masteropleidingen) kunnen als verwant aanbod worden beschouwd.

De aanvrager is van mening dat er nog geen "verwante" opleidingen bestaan, maar geeft aan dat de Technische Universiteit Delft en de Universiteit Leiden per september 2023 de verwante joint degree Quantum Information Science & Technology aanbieden. De aanvrager geeft aan te hebben afgestemd met de aanbieders van deze startende opleiding en dat zij zullen samenwerken. Verder geeft de aanvrager aan dat er een verwante hbo master Applied Quantum Technology wordt ontwikkeld door de Hogeschool van Amsterdam, Fontys Hogeschool, Saxion Hogeschool en de Haagse Hogeschool. De commissie stelt vast dat er nog geen macrodoelmatigheidsaanvraag is gedaan voor deze hbo master en dat de belangen daarvan als zodanig niet meegewogen worden.

De aanvrager stelt daarnaast dat er meerdere wo masters zijn met "verwante" tracks, namelijk: Mathematics (Universiteit van Amsterdam, track Discrete Mathematics and Quantum Information), Physics (Universiteit Leiden, tracks Quantum Matter and Optics en Classical/Quantum Information), Physics and Astronomy (Rijksuniversiteit Groningen, track Quantum Universe), Applied Physics (Technische Universiteit Delft, track Physics for Quantum Devices and Quantum Computing en Technische Universiteit Eindhoven, track Nano, Quantum en Photonics), Applied Mathematics (Technische Universiteit Delft, track Mathematics of Quantum Technology and Computation) en Electrical Engineering (Technische Universiteit Delft, track Quantum Electronics).

Verder acht de aanvrager de volgende wo masters "vergelijkbaar" met de voorgenoemde opleiding: Applied Mathematics (Rijksuniversiteit Groningen, Technische Universiteit Delft, Universiteit Twente), Mathematics (aangeboden door vijf instellingen), Mathematische Wetenschappen (Universiteit Utrecht), Applied Physics (Rijksuniversiteit Groningen, Technische Universiteit Delft, Technische Universiteit Eindhoven, Universiteit Twente), Physics (Rijksuniversiteit Groningen, Universiteit Leiden, Universiteit Utrecht), Physics and Astronomy (Radboud Universiteit Nijmegen, joint degree van de Universiteit van Amsterdam en de Vrije Universiteit Amsterdam), Astronomy (Rijksuniversiteit Groningen, Universiteit Leiden), Computer Science (Technische Universiteit Delft, Universiteit Leiden, Universiteit Twente, joint degree van de de Universiteit van Amsterdam en de Vrije Universiteit Amsterdam), Informatica (Universiteit Utrecht), Artificial Intelligence (aangeboden door vijf instellingen) en Logic (Universiteit van Amsterdam).

De aanvrager gebruikt in het dossier de termen "verwant" en "vergelijkbaar". Deze worden door de commissie begrepen als vergelijkbaar met de door de commissie gebruikte termen "sterk verwant" en "aanverwant".

De commissie volgt de aanvrager in de stelling dat de opleiding die in zijn geheel sterk verwant kan worden geacht aan de in september gestarte joint degree Quantum Information Science & Technology van de Technische Universiteit Delft en de Universiteit Leiden. Verder is de commissie in overeenstemming met de aanvrager dat de benoemde tracks ook sterk verwant zijn aan de voorgenomen opleiding, met uitzondering van de track Quantum Universe binnen de opleiding Physics and Astronomy van de Rijksuniversiteit Groningen. De commissie acht deze track onvoldoende verwant omdat de inhoudelijke focus meer ligt op theoretische quantummechanica, de instroomdoelgroep van deze opleiding substantieel anders is en studenten voor een substantieel andere arbeidsmarkt opleidt. De commissie kan niet bepalen hoe de instroom in de sterk verwante tracks de afgelopen jaren zich in de afgelopen jaren heeft ontwikkeld omdat de instroom in de tracks niet bekend is.

De commissie is van mening dat de volgende door de aanvrager genoemde wo masters aanverwant zijn aan de voorgenomen opleiding: Applied Mathematics, Mathematics, Applied Physics, Physics, Computer Science, Informatica en Artificial Intelligence. De commissie is verder van mening dat de volgende wo masters ook aanverwant zijn aan de voorgenomen opleiding: Computational Science (joint degree van de Universiteit van Amsterdam en de Vrije Universiteit Amsterdam) en Computing Science (Radboud Universiteit Nijmegen en Rijksuniversiteit Groningen). De commissie acht deze opleidingen aanverwant omdat de ICT-kennis en vaardigheden (op het vlak van o.a. algoritmes en programmeren) inhoudelijk aansluiten bij de voorgenomen opleiding, de opleidingen een vergelijkbare instroomdoelgroep bedienen en studenten opleiden voor verschillende ICT-functies. De commissie constateert echter ook dat de quantummechanica-component in deze opleidingen ontbreekt en dat dit voldoende onderscheidend is om de opleidingen hooguit aanverwant te achten.

De instroom in de aanverwante opleidingen is in de afgelopen vijf jaar sterk gegroeid (zie Tabel 4).

De commissie is van mening dat de volgende opleidingen die door de aanvrager zijn aangedragen nauwelijks verwantschap tonen met de voorgenomen opleiding: Mathematische Wetenschappen, Physics and Astronomy, Astronomy en Logic. De commissie acht deze opleidingen nauwelijks verwant omdat zij een substantieel ander programma aanbieden dan de voorgenomen opleiding, hun studenten voor andere beroepen opleiden, en/of een andere instroomgroep bedienen.

Tabel 4. Instroom eerstejaarsstudenten in verwant bekostigd onderwijsaanbod

Opleiding	Instelling	'18-'19		'19-'20		'20-'21		'21-'22		'22-'23
		VT	DT	VT	DT	VT	DT	VT	DT	DT
M Applied Mathematics (60348)	Rijksuniversiteit Groningen (21PC), Groningen	2		9		4		6		11
	Technische Universiteit Delft (21PF), Delft	86		80		121		91		100
	Universiteit Twente (21PH), Enschede	27		27		36		22		38
M Applied Physics (60436)	Rijksuniversiteit Groningen (21PC), Groningen	20		11		15		7		8
	Technische Universiteit Delft (21PF), Delft	116		160		192		173		173
	Technische Universiteit Eindhoven (21PG), Eindhoven	85		120		130		110		74
	Universiteit Twente (21PH), Enschede	37		54		59		46		39
M Artificial Intelligence (66981)	Radboud Universiteit Nijmegen (21PM), Nijmegen	47		52		74		66		79
	Rijksuniversiteit Groningen (21PC), Groningen	50		69		83		66		74
	Universiteit Utrecht (21PD), Utrecht	99		95		118		118		138

	Universiteit van Amsterdam (21PK), Amsterdam	196	109	132	152	148				
	Vrije Universiteit Amsterdam (21PL), Amsterdam	54	81	161	181	138				
M Computational Science (joint degree) (65015)	Universiteit van Amsterdam (21PK), Amsterdam	61	74	98	75	66				
	Vrije Universiteit Amsterdam (21PL), Amsterdam	2	4	4	6	2				
M Computer Science (60300)	Technische Universiteit Delft (21PF), Delft	190	201	237	270	270				
	Universiteit Leiden (21PB), Leiden	58	104	113	126	152				
	Universiteit Twente (21PH), Enschede	74	104	105	124	112				
M Computer Science (joint degree) (65014)	Universiteit van Amsterdam (21PK), Amsterdam	81	24	31	57	16				
	Vrije Universiteit Amsterdam (21PL), Amsterdam	39	75	86	122	151				
M Computing Science (60364)	Radboud Universiteit Nijmegen (21PM), Nijmegen	80	107	140	140	113				
	Rijksuniversiteit Groningen (21PC), Groningen	41	45	25	48	44				
M Electrical Engineering (60353)	Technische Universiteit Delft (21PF), Delft	130	162	219	202	105				
M Informatica (66978)	Universiteit Utrecht (21PD), Utrecht	107	116	113	134	143				
M Mathematics (66980)	Radboud Universiteit Nijmegen (21PM), Nijmegen	38	25	32	33	35				
	Rijksuniversiteit Groningen (21PC), Groningen	21	8	12	17	21				
	Universiteit Leiden (21PB), Leiden	45	55	47	46	34				
	Universiteit van Amsterdam (21PK), Amsterdam	30	37	51	39	65				
	Vrije Universiteit Amsterdam (21PL), Amsterdam	15	1	10	1	14	2	16	1	20
M Physics (60202)	Rijksuniversiteit Groningen (21PC), Groningen	27	30	23	25	37				
	Universiteit Leiden (21PB), Leiden	25	50	41	44	44				
	Universiteit Utrecht (21PD), Utrecht			117	91	103				
Totaal Instroom		1883	1 2098	1 2633	2 2653	1 2553	0			

Bron: DUO

De aanvrager heeft een prognose gemaakt van de instroom in de voorgenomen opleiding op grond van het aantal deelnemers aan de vakken Quantum Information Theory en Quantum Computing die de aanvrager via Mastermath aanbiedt. De aanvrager verwacht dat er in eerste instantie circa 20 studenten per jaar zullen instromen en dat dit aantal uiteindelijk zal uitgroeien tot 50 per jaar. De commissie acht deze prognose realistisch.

Als de instroom in de bestaande opleidingen en de verwachte instroom in de voorgenomen wo master Quantum Computer Science wordt afgezet tegen de behoefte die bij criterium a is aangetoond, blijkt dat er voldoende ruimte is om deze opleiding binnen het bekostigde domein vorm te geven.

Vestiging van de opleiding in Amsterdam heeft mogelijk enig negatief effect op de landelijke

spreiding van het onderwijsaanbod omdat de aanverwante opleidingen Computer Science, Computational Science en Artificial Intelligence hier ook zijn gevestigd. De commissie is echter van mening dat de voorgenomen opleiding geen onevenredig negatief effect zal hebben op de instroom van deze opleidingen omdat hun instroom substantieel genoeg is om enige krimp op te kunnen vangen.

De commissie concludeert dat er ruimte in het landelijk aanbod bestaat om de wo master Quantum Computer Science te realiseren. De aanvraag voldoet aan criterium b in art. 4 lid 1 van de Regeling.

Gelet op het vorenstaande adviseert de Commissie Doelmatigheid Hoger Onderwijs u om positief te besluiten op het voorliggende verzoek. De commissie adviseert daarbij de toestemming te beperken tot de voltijdvariant op grond van art. 6.2 lid 3 van de WHW.

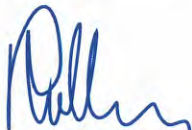
Advies aan de NVAO over de naamkeuze en Croho indeling

De commissie merkt op dat hierboven is geconstateerd dat de voorgenomen wo master Quantum Computer Science sterke verwantschap vertoont met de opleiding Quantum Information Science & Technology. Omwille van de transparantie van het opleidingsaanbod roept de commissie de aanvrager op om met de aanbieders van deze sterk verwante opleiding te verkennen of er één gezamenlijke naam gevonden kan worden.

Daarnaast heeft de commissie geconstateerd dat de aanvrager de wo master Quantum Computer Science in het Croho onderdeel Natuur wil indelen. Dit voorstel sluit aan op de indeling van verwante bestaande opleidingen, maar de commissie is van mening dat de opleiding inhoudelijk beter past binnen het Croho onderdeel Techniek, waar ook verwante opleidingen in zijn ondergebracht. De commissie adviseert daarom om de voorgenomen opleiding in het Croho onderdeel Techniek op te nemen. Dit sluit tevens aan bij de Croho indeling van de sterk verwante opleiding Quantum Information Science & Technology.

De NVAO ontvangt dit advies, zodat zij dit kan opnemen in het informatiedossier voor het panel ten behoeve van de toets nieuwe opleiding.

De Commissie Doelmatigheid Hoger Onderwijs



drs. P.M.M. Rullmann

Voorzitter CDHO

Bijlage:

Beoordelingskader macrodoelmatigheid nieuwe opleiding of nevenvestiging

Aan de hand van de in de Regeling macrodoelmatigheid hoger onderwijs van 20 juni 2018 genoemde voorwaarden worden voornemens tot het verzorgen van een nieuwe opleiding beoordeeld op doelmatigheid. Een nieuwe opleiding kan volgens artikel 4 van deze Regeling alleen doelmatig worden geacht indien het voornemen voldoet aan de criteria a en b.

Volgens criterium a heeft het instellingsbestuur aangetoond dat er behoefte bestaat aan de nieuwe opleiding of nevenvestiging, zijnde overwegend een arbeidsmarktbehoefte, dan wel een overwegend maatschappelijke behoefte in combinatie met een arbeidsmarktbehoefte, dan wel een overwegend wetenschappelijke behoefte in combinatie met een arbeidsmarktbehoefte.

Volgens criterium b dient het instellingsbestuur aan te tonen dat in de behoefte die bij criterium a is aangetoond niet door het bestaande opleidingsaanbod wordt voorzien.

Advies aan de NVAO over naamkeuze en Croho indeling

In de Toelichting op de Regeling is aangegeven dat de CDHO ook een rol heeft bij de beoordeling van de voorgestelde naam en voertaal van de opleiding en bij de voorgestelde positionering in het Croho.

Wat betreft de opleidingsnaam: de CDHO kijkt of de voorgestelde naam van de opleiding passend is, gelet op de namen van verwante opleidingen. Daarbij is het uitgangspunt dat sterk op elkaar lijkende opleidingen dezelfde naam krijgen, om de transparantie van het opleidingsaanbod voor studiekezers en werkgevers te borgen. In het Croho kan ook een internationale (Engelse) naam worden geregistreerd. Dit onderdeel van het CDHO advies is niet gericht aan de Minister van OCW, maar aan de NVAO. Het panel van de NVAO toetst of de naamkeuze gerechtvaardigd is gelet op de inhoud van de opleiding en de namen van vergelijkbare opleidingen (artikel 5.7, vierde lid, onderdeel a, van de WHW).

Wat betreft de positie in het Croho: de CDHO kijkt of de voorgestelde indeling in het Croho passend is, gelet op de indeling van verwante opleidingen. Daarbij is het uitgangspunt dat sterk op elkaar lijkende opleidingen in hetzelfde Croho onderdeel worden geregistreerd, om de transparantie van het opleidingsaanbod voor studiekezers en werkgevers te borgen. Dit onderdeel van het CDHO advies is niet gericht aan de Minister van OCW, maar aan de NVAO. Het panel van de NVAO toetst of de voorgestelde indeling in het Croho aansluit bij de ordening van verwante opleidingen.