



Universiteit
Leiden

The Netherlands

In a state of superposition: exploring (in)effective public communication about quantum technology

Meinsma, A.L.

Citation

Meinsma, A. L. (2026, January 28). *In a state of superposition: exploring (in)effective public communication about quantum technology*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4288270>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4288270>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

Quantumtechnologie is een opkomende technologie van de 21e eeuw die naar verwachting aanzienlijke positieve en negatieve gevolgen zal hebben voor de samenleving. Voorbeelden van mogelijke positieve gevolgen zijn het ontwerpen van nieuwe geneesmiddelen, de mogelijkheid van veilig online stemmen en de veiligere bouw van energie- en transportinfrastructuur. Voorbeelden van mogelijke negatieve gevolgen zijn echter het kraken van onze encryptie, wat kan leiden tot datalekken, het verliezen van grip op criminele organisaties die via quantumcommunicatie op een fundamenteel veilige manier met elkaar kunnen communiceren, en ethische en privacykwesties als gevolg van grote hoeveelheden sensorgegevens. Om de positieve maatschappelijke impact van quantumtechnologie te maximaliseren en de negatieve impact te minimaliseren, kan publieke betrokkenheid belangrijk zijn. Door maatschappelijke actoren te laten deelnemen aan dialogen over quantumtechnologie, kan er beter inzicht ontstaan in hoe quantumtechnologie verschillende groepen mensen beïnvloedt. Ook kan publieke betrokkenheid leiden tot meer publieke steun voor, en minder publieke weerstand tegen, quantumtechnologie. Bovendien zouden mensen vanuit democratisch perspectief de kans moeten krijgen om deel te nemen aan dialogen over quantumtechnologie, aangezien deze technologie een aanzienlijke invloed kan gaan hebben op hun leven. **Hoofdstuk 1** beschrijft het veld van quantumwetenschap en -technologie en de rol die wetenschapscommunicatie kan spelen in een dergelijke ontwikkeling in meer detail.

Dit proefschrift onderzoekt de publieke communicatie rond quantumwetenschap en -technologie die van invloed kan zijn op de betrokkenheid van het publiek. Wetenschappelijke literatuur wijst op vier mogelijke problemen in de publieke communicatie over quantumwetenschap en -technologie die de betrokkenheid van het publiek kunnen belemmeren. Deze zijn:

- (a) het framen van quantumwetenschap en -technologie als iets raadselachtigs;
- (b) de onderliggende quantumfenomenen niet behandelen bij het uitleggen van wat quantumtechnologie inhoudt;
- (c) het gebruik van een ‘beperkt’ in plaats van een ‘breder’ publiekbelangframe; en
- (d) de focus op het domein van quantumcomputing & -simulatie ten koste van

de andere twee domeinen van quantumtechnologie (namelijk quantumcommunicatie en quantumsensing & -metrologie).

Hoofdstuk 2 en **Hoofdstuk 3** beschrijven of deze vier mogelijke problemen daadwerkelijk voorkomen in de publieke communicatie over quantumwetenschap en -technologie. Hiervoor hebben we een inhoudsanalyse uitgevoerd van 501 Engelstalige TEDx presentaties (Hoofdstuk 2) en 385 Nederlandse krantenartikelen (Hoofdstuk 3) waarin informatie over quantumwetenschap en -technologie werd gedeeld.

We vonden zeer vergelijkbare resultaten voor beide datasets. Ten eerste kwam *het spookachtig en raadselachtigframe* in bijna een kwart van beide datasets voor, wat aantoont dat het frame weliswaar aanwezig was, maar niet in de meeste presentaties of artikelen voorkwam. Ten tweede bevatte ongeveer de helft van het geanalyseerde materiaal waarin naar quantumtechnologie werd verwezen ten minste één *uitleg voor een quantumfenomeen* dat wij meenamen in onze studie (superpositie, verstrengeling en contextualiteit). Ten derde werd in beide datasets nauwelijks verwezen naar hoe quantumtechnologie problemen kan oplossen of het leven van mensen kan verbeteren (beschouwd als een *breder publiekbelangframe*), of naar hoe quantumtechnologie economische ontwikkeling kan realiseren of tot concurrentie kan leiden (beschouwd als een *beperkt publiekbelangframe*). In een aanvullende analyse naar het voordeel- en het risicoframe leek het breder publiekbelangframe – dat een reflectie op zowel de voordelen als de risico's inhoudt – echter te ontbreken, aangezien de potentiële voordelen van quantumtechnologie in beide datasets ongeveer zes keer vaker werden genoemd dan de potentiële risico's. Ten slotte bleek in beide datasets de nadruk te liggen op *het domein van quantumcomputers en -simulatie*.

Na het kwantificeren van de mogelijke problemen in Hoofdstuk 2 en 3, beschrijft het onderzoek in **Hoofdstuk 4** hun effect op de betrokkenheid van mensen bij quantumtechnologie aan de hand van een online experiment. In totaal namen $n = 637$ volwassenen, representatief voor de Nederlandse bevolking, deel aan het experiment. De deelnemers werden willekeurig ingedeeld om een tekst te lezen waarin het bijvoeglijk naamwoord 'raadselachtig' al dan niet werd gebruikt bij de beschrijving van quantummechanica; waarin al dan niet een uitleg van een quantumfenomeen werd gegeven; en waarin al dan niet een voordeel-, risico-, zowel een voordeel- als risico-, of geen van deze frames werd gebruikt. Daarna werd de zelfgerapporteerde betrokkenheid van de deelnemers bij quantumtechnologie gemeten aan de hand van een schaal met verschillende variabelen: 1) de intentie van de deelnemers om aanvullende informatie over quantumtechnologie te zoeken (informatie zoeken); 2) hun overtuiging over hun eigen vermogen om informatie

over quantumtechnologie te begrijpen en ermee om te gaan (internal efficacy); 3) hun algemene interesse in quantumtechnologie (algemene interesse); en 4) hun vertrouwen in hun kennis van quantumtechnologie (waargenomen kennis).

De resultaten toonden aan dat het raadselachtigframe en het risicoframe de zelfgerapporteerde betrokkenheid niet verhoogden of schaadden. Deelnemers die een uitleg over een quantumfenomeen hadden gelezen scoorden echter significant hoger op algemene interesse dan degenen die die uitleg niet hadden gelezen, en deelnemers die waren blootgesteld aan een voordeelframe scoorden significant hoger op internal efficacy dan degenen die dat niet waren. Deelnemers die echter een voordeel- én een risicoframe hadden gelezen scoorden significant lager op waargenomen kennis in vergelijking met degenen die alleen over een voordeel of alleen over een risico van quantumtechnologie hadden gelezen. Dit resultaat bracht een interessante spanning aan het licht, aangezien een aantal wetenschapscommunicatieonderzoekers hebben betoogd dat voor de grootste positieve maatschappelijke impact een brede reflectie op zowel de voordelen als de risico's van quantumtechnologie nodig is. In Hoofdstuk 4 stellen we dat deze ethische overweging naar onze mening belangrijker is om mee te nemen in de publieke communicatie over quantumtechnologie dan de mogelijke nadelen ervan.

In **Hoofdstuk 5** presenteren we vervolgens of metaforen belangrijke quantumfenomenen (superpositie en verstrengeling) begrijpelijker maken en of dit op zijn beurt van invloed is op de attitude van mensen ten aanzien van quantumtechnologie. Hiervoor maakten we gebruik van een online experiment waar in totaal $n = 1.167$ volwassenen, representatief voor de Nederlandse bevolking, aan deelnamen. Ze lazen een fictief nieuwsartikel dat ofwel een metaforische uitleg, ofwel een niet-metaforische uitleg of helemaal geen uitleg bevatte over superpositie of verstrengeling. Daarna werden vier variabelen gemeten: 1) het gevoel van de deelnemers van hun begrip van het nieuwsartikel (waargenomen begrip); 2) hun daadwerkelijke begrip van het genoemde quantumfenomeen (daadwerkelijk begrip); 3) hun emoties en gevoelens ten opzichte van quantumtechnologie (op affect gebaseerde attitude); en 4) hun gedachten en overtuigingen over quantumtechnologie (op cognitie gebaseerde attitude).

De metaforische uitleg van superpositie en verstrengeling in het nieuwsartikel was afkomstig van een kleinschalig onderzoek dat we hadden uitgevoerd onder $n = 22$ Nederlandse quantumexperts voorafgaand aan het experiment. In reactie op oproepen van de wetenschapscommunicatiegemeenschap om de nauwkeurigheid van door AI gegenereerde wetenschappelijke uitleg te evalueren, hebben we ChatGPT 3.5 vijf metaforen voor superpositie en vijf metaforen voor verstrengeling laten genereren, die de Nederlandse quantumexperts vervolgens evalueerden op accu-

aatheid. De meest accurate metafoor voor superpositie vergeleek het fenomeen met een munt die in de lucht ronddraait en tegelijkertijd kop en munt lijkt te zijn totdat de munt op tafel valt. De meest accurate metafoor voor verstrengeling vergeleek dit quantumfenomeen met het gooien van een paar dobbelstenen, waarbij als één dobbelsteen wordt gegooid, de uitkomst van de andere dobbelsteen vooraf bepaald is, zelfs als deze zich aan de andere kant van de goktafel bevindt.

De resultaten van ons experiment toonden aan dat deelnemers die een uitleg over een quantumfenomeen hadden gelezen, ongeacht of die uitleg metaforisch of niet-metaforisch was, hun waargenomen begrip van het nieuwsartikel aanzienlijk lager scoorden dan degenen die geen uitleg over een quantumfenomeen hadden gelezen. Het daadwerkelijke begrip van het quantumfenomeen van de uitleg-conditie groepen was echter aanzienlijk hoger dan van de geen-uitleg-conditie groepen. We vonden geen significante verschillen tussen de groepen wat betreft hun attitude ten opzichte van quantumtechnologie.

Aangezien eerder onderzoek een verband suggereert tussen begrip en attitude, hebben we dit verband ook in de context van ons onderzoek onderzocht. De effecten die we waarnamen waren significant maar zeer klein, en verschilden niet tussen metaforische en niet-metaforische uitleg. We ontdekten dat het geven van een uitleg over een quantumfenomeen in het nieuwsartikel het gevoel van begrip van de deelnemers aanzienlijk verminderde, wat op zijn beurt leidde tot minder positieve attitudes ten opzichte van quantumtechnologie. We ontdekten echter ook dat het geven van een uitleg over een quantumfenomeen het daadwerkelijke begrip van de deelnemers van het quantumfenomeen verhoogt, wat op zijn beurt juist tot positievere attitudes leidde ten opzichte van quantumtechnologie, maar dat dit positieve effect werd tenietgedaan door een direct negatief effect.

Ten slotte geeft **Hoofdstuk 6** een reflectie op de studies in dit proefschrift. We presenteren de beperkingen van het werk en het mogelijke vervolgonderzoek dat daaruit voortkomt, en sluiten af met vier aanbevelingen voor wetenschapscommunicatieonderzoekers en vier aanbevelingen voor wetenschapscommunicatoren.

Aanbevelingen voor wetenschapscommunicatieonderzoekers. De eerste aanbeveling voor onderzoekers op het gebied van wetenschapscommunicatie is dat, zoals in dit proefschrift wordt aangetoond, beweringen over mogelijke problemen empirisch moeten worden onderzocht om echt inzicht te krijgen in het voorkomen en de effecten ervan. Ten tweede lieten de inhoudsanalyses in dit proefschrift zeer vergelijkbare resultaten zien tussen Engelse TEDx presentaties en Nederlandse krantenartikelen. Toekomstig onderzoek zou moeten nagaan of deze patronen een algemene trend zijn in de publieke communicatie over quantumtechnologie. Ten derde hebben de experimentele studies in dit proefschrift aangetoond dat het soort

informatie dat wordt verstrekt al van invloed kan zijn op de mening van mensen over quantumtechnologie. Daarom moet verder worden onderzocht hoe bepaalde communicatiebeslissingen over grotendeels onbekende onderwerpen verschillende publieken beïnvloeden. Ten slotte heeft dit proefschrift aangetoond dat het meten van de effecten van frames op variabelen die niet direct betrekking hebben op publieke steun, zoals de intentie van mensen om aanvullende informatie op te zoeken over een bepaald onderwerp of hun algemene interesse erin, belangrijke inzichten kan opleveren. Daarom dient dit verder onderzocht te worden.

Aanbevelingen voor wetenschapscommunicatoren. Ten eerste is het aan wetenschapscommunicatoren zelf om te beslissen of ze quantumwetenschap als iets spookachtigs of raadselachtigs willen presenteren, aangezien dit proefschrift laat zien dat een eenmalige vermelding hiervan geen voor- of nadelen lijkt te hebben voor publieke betrokkenheid. Ten tweede bleek uit de studies in dit proefschrift dat de keuze om in publieke communicatie al dan niet uitleg op te nemen over tegenintuïtieve quantumfenomenen afhangt van het doel van de communicatie. Als het doel is om de interesse in quantumtechnologie en de betrokkenheid bij quantumtechnologie in het algemeen te vergroten, of als het doel is om het begrip van het quantumfenomeen bij mensen (ietwat) te vergroten, kan uitleg helpen. Als het doel echter is om het publiek het gevoel te geven dat ze de communicatie zelf hebben begrepen, kunnen wetenschapscommunicatoren uitleg beter achterwege laten. Ten derde leken metaforen geen extra voordeel te bieden ten opzichte van niet-metaforen bij het uitleggen van quantumfenomenen. Het is dus aan wetenschapscommunicatoren zelf om te beslissen of ze metaforen gebruiken. Ze moeten echter wel voorzichtig zijn met het gebruik van metaforen die te complex of mysterieus zijn om over te brengen, om weerstand van experts te voorkomen. Ten slotte zou het goed zijn als wetenschapscommunicatoren aandacht besteden aan een breder scala aan quantumtechnologieën dan alleen quantumcomputers en de nadruk leggen op de potentiële voordelen en risico's ervan, om een gebalanceerd perspectief te presenteren.