

## A. Skema til ansøgning om resultatkontraktmidler

<b>Indsatsområde (titel):</b>	<b>Testcenter for kvanteteknologi</b>	<b>Evt. nr.:</b>	5
<b>Indsatsområde kort (resumé)</b>			
Resumeet vil også blive brugt ved offentliggørelsen af forslaget på <a href="http://bedreinnovation.dk">bedreinnovation.dk</a>			
<p>Det er DFM's vision at etablere et førende testcenter i Europa for test og validering af kvantematerialer, kvantekomponenter og kvantesystemer. DFM søger i nærværende ansøgning midler til at styrke og videreudvikle nuværende kvanteaktiviteter hen mod visionen i tæt samarbejde med de øvrige aktører i det danske kvanteteknologi-økosystem og med førende udenlandske Nationale MetrologiInstitutter (NMI). DFM og FORCE Technology vil sammen udføre de planlagte vidensspredningsaktiviteter.</p>			
<b>1) Vision og Målsætninger</b>			
<p>Det er DFM's vision at etablere et førende testcenter i Europa for test og validering af kvantematerialer, kvantekomponenter og kvantesystemer. Centeret skal sikre en markant og langsigtet styrkelse af den danske indsats inden for udvikling af kvanteteknologi, både til civile og forsvarsmæssige anvendelser, og etablere kritisk infrastruktur for kvanteteknologi-startupvirksomheder i Danmark og i øvrige NATO alliance lande.</p> <p>DFM søger i nærværende ansøgning midler til at styrke og videreudvikle nuværende kvanteaktiviteter hen mod visionen i tæt samarbejde med de øvrige aktører i det danske kvanteteknologi-økosystem, og med førende udenlandske Nationale MetrologiInstitutter (NMI).</p> <p>Indsatsen vil have en tæt sammenhæng med NATO DIANA centeret for kvanteteknologi, som blev bevilget til Danmark medio 2022. Centeret består dels af en startup inkubator og dels af et kvanteteknologi-testcenter. DFM er partner i centeret sammen med KU-NBI, DTU, AU. Det vurderes at indsatsen ligeledes vil bidrage til udvikling af ny teknologi, der styrker den grønne omstilling i Danmark. Potentialet beskrives af Uddannelses- og Forskningsminister Jesper Petersen, som medio 2022 udtalte "Kvanteteknologi har et kæmpe potentiale for at skabe et sundere, grønnere og mere sikkert samfund"<sup>1</sup>.</p> <p>Indsatsens værdi og succes kvantificeres ved følgende indikatorer og tilhørende mål:</p>			
	<b>Indikatorer</b>	<b>Mål</b>	
1	Nye ydelser	≥ 7	
2	Møder med målgruppen	≥ 16	
3	Møder og sparring med brancheorganisationer og klynger	≥ 14	
4	Industrispecifikke vidensspredningsaktiviteter fx seminarer, webinarer, videomaterialer	≥ 4	
5	Virksomhedscases	≥ 4	
6	Nye virksomhedssamarbejdspartnere	≥ 6	
7	Publikationer i internationale 'peer-review' tidsskrifter, resultater fra sammenligninger og nye standarder	≥ 5	
8	Heraf i samarbejde med repræsentanter fra målgruppen	≥ 3	

<sup>1</sup> <https://ufm.dk/aktuelt/pressemeddelelser/2022/ny-kortlaegning-dansk-kvanteforskning-er-i-verdensklasse>

9	Hjemtag af forskningsmidler ved danske universiteter via projektsamarbejder med DFM (mio. kr.)	≥ 6
---	--	-----

## 2) Indsatsens relevans og potentiale

Forskning, innovation og geopolitik hænger i stigende grad sammen, og det gælder i høj grad kvanteteknologi. Kvanteteknologi vil i fremtiden udvikle sig til et kritisk industriområde både for civile - og forsvarsmæssige anvendelser.

Danmarks aktiviteter på området er blevet kraftigt øget over de seneste år fx Novo Nordisk fonden indsats for at opbygge en kvantecomputer i Danmark. For at opnå fuld værdi af aktiviteterne skal det sikres, at der etableres et økosystem, som dækker alle kritiske behov. DFM's etablering af et testcenter for kvantematerialer, kvantekomponenter og kvantesystemer vil udgøre en vigtig del af dette økosystem.

Kvanteteknologi er endnu på et tidligt stadie; behovene for infrastruktur og ydelser ændres hurtigt og derfor kræves en forskningsorienteret tilgang og mulighed for at hjemtage "state of the art" viden og teknologi på området. DFM har i en årrække arbejdet med kvanteteknologi i samarbejde med øvrige danske aktører, og har opbygget tætte relationer til de førende NMI'er blandt Danmarks NATO partnere.

Nærværende indsats støtter både universiteternes forskningsindsats og de mange fremtidige kvantestartups, der forventes i regi af NATO DIANA centeret.

Indsatsen vil fremme danske kvanteteknologi-startups muligheder for at få testet og valideret deres produkter og ydelser, og således bidrage til både at skabe nye kommercielle produkter og samtidig sikre, at markedet opnår tillid til produkternes funktionsduelighed. Det er generelt meget vanskeligt at afgøre kvanteprodukters funktionsduelighed, og derfor er adgangen til et "state of the art" testcenter så afgørende.

Universiteterne får styrkede muligheder for at få testet materialer, komponenter og systemer og herved forbedres potentialet for kommercialisering af deres forskningsaktiviteter. Indsatsen vil sikre, at danske aktører får adgang til den nyeste viden om standardiseringsaktiviteterne på området og sikre, at danske interesser indgår i udarbejdelsen af nye standarder for kvanteteknologi.

Indsatsen vurderes at have et meget stort langsigtet potentiale for Danmark.

## 3) Markedssvigt og konkurrencesituation

Der er behov for et etablere et testcenter, der dynamisk og fleksibelt kan udvikle "state of the art" infrastruktur og ydelser i tæt samarbejde med de øvrige danske aktører. Behovene vil skifte over tid og kritisk udstyr kan ikke bare indkøbes og installeres, men kræver ofte egenudvikling eller tilpasning for at kunne opfylde behovene.

Markedssvigtet består i at Danmark har brug for at etablere et sammenhængende økosystem på kvanteteknologiområdet inkl. testfaciliteter for at opnå succes med aktiviteterne, men der er endnu ikke noget kommercielt marked, som kan supportere denne indsats. Der vurderes at ville gå en årrække før der er etableret et egentligt marked på området.

DFM har som Danmarks Nationale Metrologiinstitut en højt specialiseret viden om metrologi, som ikke findes andre steder i det danske samfund. DFM har stor erfaring i at udvikle målekompetencer og måleudstyr, og har gennem en årrække opbygget viden på kvanteteknologiområdet. Det vurderes derfor, at DFM er i en stærk position til at opfylde visionen om et førende europæisk testcenter for kvanteteknologi. Der findes ikke på nuværende tidspunkt andre danske aktører, der vil kunne løfte denne opgave i det danske kvanteteknologi-økosystem.

Lande som Storbritannien og Holland har gennem en årrække investeret mange midler i udvikling af kvanteteknologi, og er på flere områder foran Danmark. Kina har ligeledes investeret massivt i

kvanteteknologi. Testfaciliteter findes ikke i stort omfang i dag, men er ved at blive etableret i en række lande for at støtte kvanteforskningsindsatserne.

#### 4) Indsatsområdets kobling til videns- og innovationssystemet

DFM har gennem de seneste fem år samarbejdet med væsentlige nationale og internationale aktører inden for kvanteteknologi. Samarbejdet er i høj grad etableret ved projektsamarbejder med danske universiteter (KU, AU, DTU), danske virksomheder (bl.a. Sparrow Quantum, Zybersafe, Cryptomatic og NKT Photonics), udenlandske videninstitutioner (bl.a. TU-Delft, Aalto University Finland) og nationale metrologiinstitutter (bl.a. NPL UK og VSL Holland). DFM deltager aktivt i de nationale netværk *Danish Quantum Community*, hvor DFM er stiftende medlem, og *QuantumDTU* ([quantum.dtu.dk/dk-quantum-community](http://quantum.dtu.dk/dk-quantum-community)). Internationalt er DFM medlem i *European Quantum Industry Consortium* ([www.euroquic.org](http://www.euroquic.org)) og i *European Metrology Network for Quantum Technologies* (EMN-Q, [www.euramet.org/european-metrology-networks/quantum-technologies](http://www.euramet.org/european-metrology-networks/quantum-technologies)).

Arbejdet i nærværende indsatsområde udføres i tæt samarbejde med de aktører, der er relevante for de kompetencer og ydelser, som udvikles. Relevante aktører søges både blandt eksisterende samarbejdspartnere og ved aktivt at opsøge nye muligheder.

Oprettelsen af NATO DIANA centeret for kvanteteknologi sker på baggrund af en ansøgning fra KU-NBI, DTU, AU og DFM. Nærværende indsats udføres i tæt samarbejde med alle NATO DIANA center deltagere og koordineres med DIANA aktiviteterne. Desuden etableres samarbejde med NMI'er i nære alliancelandede fx NIST, NPL og VSL, som arbejder på at etablere kvantetestcentre.

DFM's forskere er på nuværende tidspunkt medvejleder på to kandidatprojekter inden for kvanteteknologi. Dette uddannelsessamarbejde med universiteterne fortsættes og styrkes fremadrettet. Mulighederne for fælles ph.d. projekter vil blive afsøgt.

FORCE Technology deltager i dette indsatsområde med henblik på at opbygge tilstrækkelig viden om kvanteteknologi til efterfølgende at kunne igangsætte en større indsats på området. DFM og FORCE Technology vil samarbejde omkring vidensspredning samt kortlægning af behov og samfundsanvendelser, herunder danske aktørers fremtidige behov inden for test og validering af kvantematerialer, -komponenter og -systemer.

Vidnehjemtagning sikres desuden gennem deltagelse i netværksarrangementer, konferencer, projektsamarbejder og udstationering. Der planlægges 2 studieophold ved strategiske samarbejdspartnere, fx NPL og VSL/TU-Delft. På ledelsesniveau deltages årligt i 2-3 industriorienterede kvanteteknologi-konferencer. Herudover deltager DFM og FORCE Technology i et tilsvarende antal forskningsorienterede konferencer.

#### 5) Vidensspredning og inddragelse i indsatsområdet

Virksomheder, universiteter og udenlandske metrologiinstitutter inddrages i indsatsområdets aktiviteter gennem et tæt samarbejde. Dette samarbejde udbygges bedst ved nye fælles projekter. Der planlægges at søge midler fra danske og udenlandske bevillingsgivere til en styrkelse af testcenteret. Deltagelse i EMPIR kald giver gode muligheder for samarbejde med både danske virksomheder, universiteter samt udenlandske NMI'er og videninstitutioner. Herudover søges midler sammen med andre aktører gennem Horizon Europe, Innovationsfonden og Eureka programmerne.

Vidensspredningsindsatsen implementeres i samarbejde med FORCE Technology. Herudover udnyttes medlemskab af *Danish Quantum Community* og *QuantumDTU* samt klyngerne Censec og DigitalLead i vidensspredningsaktiviteterne. Konkret vil aktiviteterne omfatte gæsteforelæsnings ved danske universiteter, indlæg på konferencer og seminarer, publikationer og rapporter, digital formidling samt møder og planlægning med aktørerne.

Ud over samarbejdet med FORCE Technology vil DFM arbejde for at øvrige GTS institutter inddrages i kvantedagsordenen med henblik på at styrke den samlede GTS indsats på længere sigt. DFM og FORCE Technology planlægger i perioden afholdelse af en fælles GTS workshop om, hvordan GTS institutterne samlet understøtter danske virksomheders implementering af kvanteteknologi på længere sigt.

Der etableres en følgegruppe bestående af de primære danske aktører på området fx fra KU-NBI, DTU, AU, The Novo Nordic Foundation Quantum Computing Programme (NQCP), Danish Quantum Community og deltagere fra danske kvantestartup virksomheder. Fra 2024 udvides med deltagelse fra strategiske samarbejdspartnere i udlandet. Der afholdes minimum to møder årligt.

## 6) Sammenhæng med instituttets strategi og afsæt i instituttets ressourcer

Udvikling og opbygning af testfaciliteter inden for kvanteteknologi er et centralt element i DFM's strategi for perioden 2021-2024. Specifikt er området kvantemetrologi defineret som et af DFM's tre "Must Win Battles" for perioden.

DFM har etableret stærke kompetencer inden for kvantemetrologi via den tidligere resultatkontrakt "Kvantemetrologi" (2018-2019) og igangværende resultatkontrakt "Metrologi til digitalisering og datasikkerhed" (2020-2024). Herudover har DFM siden 2017 deltaget i 10 eksternt finansierede forskningsprojekter inden for kvanteteknologi i samarbejde med førende nationale og internationale forskningsinstitutioner. DFM's aktiviteter omkring udvikling af tid og frekvens er desuden fagligt tæt forbundet med kvantemetrologi. DFM har således opbygget forskningskompetencer og -ressourcer på et højt internationalt niveau og opnået adgang til et meget stærkt internationalt netværk af forskningsorganisationer.

Ud af DFM's nuværende 24 forskere har 8 en forskeruddannelse inden for kvanteteknologi. DFM har således de grundlæggende kompetencer til at løfte området, men vil også tilføre nye ressourcer til området.

Nærværende indsats til etablering af testfaciliteter inden for kvanteteknologi vil naturligt supplere aktivitetsplanen "Kvantemetrologi" under den igangværende resultatkontrakt "Metrologi til digitalisering og datasikkerhed". Synergi og komplementaritet mellem nuværende aktivitetsplan "Kvantemetrologi" og det foreslåede indsatsområde sikres ved at samme teamleder koordinerer aktiviteterne på begge områder.

FORCE Technology har som en del af sin institutstrategi 2021-24 fokus på at excellent forskning skal omsættes mere effektivt til innovative produkter i danske virksomheder, bl.a. med afsæt i at grønne og teknologibaserede opstartsvirksomheder har svært ved at skalere sig til større og vedblivende virksomheder. Der er fokus på at nedbryde barrierer for introduktion af nye banebrydende teknologiske løsninger, og på at gennemtænke vejen fra universitetsnær forskning til succesfuld og skaleret virksomhed. Nærværende indsats ses som tæt knyttet til denne strategi.

## 7) Konkrete aktiviteter

DFM vil forske i måleteknologi med henblik på udvikling af test og valideringsfaciliteter, som understøtter den teknologiske udvikling inden for kvantecomputing, kvantekryptering og kvantesensorer. To metrologiområder er særligt interessante i forbindelse med kvanteteknologi:

*Fotonik* er relevant for udvikling af fotoniske kvantecomputere, kvantecomputere baseret på ionfælde-qubits, kvantekryptering i optiske fibre og en række kvantesensorer.

*Nanometrologi* er relevant for udvikling af kvantecomputere baseret på enten superledende qubits, spin-qubits eller topologiske qubits. Det nye "The Novo Nordic Foundation Quantum Computing Programme"

(NQCP) planlægger aktiviteter inden for fotoniske qubits, superledende qubits og spin-qubits. Microsoft arbejder i Danmark på udvikling af superledende qubits og topologiske qubits. DFM samarbejder med NKT Photonics om udvikling af nye laserkilder til ionfælde-qubits.

I en publikation fra 2021<sup>2</sup> præsenteres resultaterne af en undersøgelse af den britiske kvanteindustri væsentligste metrologibehov. De tre behov, som fremhæves oftest af deltagerne i undersøgelsen, er: 1) måling af laser linjebredde, 2) test af komponenter til kvantecomputing hardware, og 3) test af enkelt-foton detektorer. Alle tre behov genfindes hos danske kvanteteknologi-aktører og adresseres i nærværende forslag til indsatsområde.

Gennemførelse af samtlige nedenstående aktiviteter forudsætter at DFM gennem ansøgninger til nationale og internationale fonde og programmer (fx Novo Nordisk Fonden, Innovationsfonden, EU Horizon Europe/EMPIR, Eurika) kan opnå en effektiv gearing af resultatkontraktmidlerne.

DFM forventer at investere yderligere 1,5 mio.kr. i udstyr til kvanteindsatsen i 2023 og 3,0 mio.kr. i 2024 af egne midler. Hertil kommer eventuelle midler fra supplerende ansøgninger hos andre parter i de kommende år.

### **Måling på kvantematerialer og -komponenter på nanoskala til kvantecomputing**

Tre af de mest interessante qubit-teknologier, (superledende qubits, spin-qubits og topologiske qubits), er baseret på årtiers udvikling inden for halvlederindustrien. Det giver disse teknologier en fordel, da de i et vist omfang kan udnytte industriens eksisterende økosystem til fx fremstilling og kvalitetssikring. Kvaliteten af disse qubits er dog fortsat utilstrækkelig og begrænses af kvantematerialernes egenskaber og tilpasning af grænsefladerne mellem de forskellige materialer, som indgår i hver enkelt qubit. DFM vil i samarbejde med aktører i Danmark udvikle nye kompetencer og målemetoder til nøjagtig karakterisering af kvantematerialer og grænseflader på nanoskala. Specifikt planlægges følgende:

#### *Atomic Force Microscopy (AFM):*

Opmåling af geometri og overfladeruhed af kvantematerialer i området under 5 nm for både halvledere (fx Si, InAs, InSb, GaAs) og superledende metaller (fx. Al, Pb). Usikkerhed < 1 %.

#### *Scanning Electron Microscopy (SEM):*

Overfladepopografi for stephøjder under 500 nm for Si, InX (x=As,P,Sb) samt karakterisering af 2D Al girtre. Usikkerhed < 15 %.

#### *Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX):*

Afbildning af overfladekemi i op til 10 µm x 10 µm areal og med bedre end 95 % nøjagtighed i bestemmelse af grundstofforhold for Si-Al, InX-Al hybrid grænseflade. Derudover bestemmelse af grundstoffer i grænsen til en *Josephson junction* med op til 10 nm opløsning samt analyse af defekter fra fremmede materialer i kvantekomponenter. Usikkerhed < 10 %.

#### *Kelvin probe microscopy (KPFM):*

Måling af overfladepotentiale for plasmaskader ned til 10 mV for våd/tør ætsning af Si *wafers* ved sammenligning med referenceprøve. Sammenligning med måling på *Josephson junction* med EDX måling. Usikkerhed < 8%.

#### *Conductive Force Microscopy (C-FM):*

C-FM måleteknikken er komplementær til KPFM og kan bruges til at validere sidstnævnte. Teknikken anvendes til afbildning af grænsen mellem superleder (Al) og halvleder (C-FM) med bedre end 10 nm opløsning. Usikkerhed < 5%.

#### *Magnetic Force Microscopy (MFM):*

Målesystem kalibreres først ved måling på magnetiske materialer (Fe, Co, Ni). Dernæst måles på

<sup>2</sup> R. Dandridge, E. A. Curtis, and A. Nasir, *Test and evaluation in support of quantum technology development in UK*, Measurement: Sensors **18** (2021) 100277

hybridmaterialer som halvleder-magnetisk eller halvleder-metal-magnetisk (fx Si-Al-Fe). Målet er at kunne måle dimensioner af magnetiske domæner med en opløsning bedre end 50 nm og en usikkerhed bedre end 10 %.

#### *Skatterometri:*

Med optisk skatterometri kan kvantematerialer karakteriseres hurtigt mellem de forskellige produktionstrin, mens materialet forbliver under vakuum. Målinger på lys spredt fra kvantematerialets overflade giver information om geometri og optiske materialeegenskaber. Ved at anvende nye lyskilder med kortere bølgelængder (150 nm) end hvad der tidligere har været tilgængeligt, kan endnu mindre strukturer (ned til ca 10 nm) udmåles. I samarbejde med danske aktører identificeres i første omgang materialer og procestrin, hvor skatterometri kan give en produktionsmæssig fordel sammenlignet med andre måleteknikker.

### **Måling på fotonikkomponenter og -systemer til kvantekryptering og –computing**

#### *Quantum Random Number Generators*

Alle krypteringsalgoritmer, både klassiske og kvantebaserede, har brug for en række af tilfældige tal for at generere krypteringsnøgler. Det er vanskeligt at opnå en tilstrækkelig grad af tilfældighed alene ved brug af nuværende klassiske og deterministiske computere. Det er muligt at udnytte kvantefysikkens love til at fremstille en såkaldt *Quantum Random Number Generator* (QRNG). Teoretisk kan en QRNG generere tal med 100 % perfekt tilfældighed, men praktiske implementeringer reducerer kvaliteten. DFM vil etablere en facilitet til at karakterisere optiske QRNG systemer, herunder kvantificering af indflydelsen fra klassisk elektronikstøj og ulinearitet i detektorrespons. Desuden implementeres statistiske analyser til at evaluere graden af tilfældighed. DFM vil ligeledes arbejde for international standardisering på området, således at det på sigt bliver muligt at opnå akkreditering til produktcertificering til gavn for QRNG producenter som fx Alea Quantum Technologies ApS.

#### *Kvantekryptering*

DFM har i tidligere resultatkontrakter opbygget kompetencer til karakterisering af komponenter til kvantekryptering med kontinuerte lyskilder (modsat pulserede lyskilder og enkeltfoton-lyskilder). I den kommende periode videreudvikles kompetencerne til komponenter til kvantekryptering med enkeltfoton-lyskilder. Desuden etableres en facilitet til at evaluere samlede systemer til kvantekryptering, herunder måling af tab og støj i transmissionslinjen samt bestemmelse af transmissionsrate og fejlrater for transmission af krypteringsnøglen.

#### *Fotoniske integrerede kredsløb*

Fotoniske integrerede kredsløb er en kompakt og skalerbar platform med anvendelser inden for bl.a. kvantesimulering og kvantekommunikation. DFM samarbejder med producenter af den type kredsløb i EMPIR projektet SEQUME ([sequme.cmi.cz](http://sequme.cmi.cz)). Vi planlægger at udvide samarbejdet til at omfatte optisk karakterisering af fotoniske integrerede kredsløb, specielt med henblik på måling af *splitting ratio* i op til 10 kanaler i området fra  $1e-6$  til 0.5 med en usikkerhed på 10 % i den nedre del af måleområdet.

#### *Måling af laserlinjebredde*

Kvantecomputere baseret på ionfælde-qubits eller kolde atomer kræver nye laserkilder med meget høj effekt (op til 10 W), nye bølgelængder (specielt i området  $1.6 \mu\text{m} - 2.1 \mu\text{m}$ ) samt ultra-smal linjebredde og lav fasestøj. NKT Photonics arbejder på at udvikle lasere med sådanne egenskaber, men der er et behov for at udvikle teknologi til karakterisering af laserne. DFM vil opbygge den nødvendige infrastruktur til karakterisering af lasere med høj effekt og meget lav fasestøj (smal linjebredde). Specielt fokuseres på udvikling af udstyr til måling af fasestøj ved meget lave frekvenser (10 mHz – 10 Hz) med en følsomhed bedre end  $100 \text{ Hz}/\sqrt{\text{Hz}}$ ; et område, som i dag ikke dækkes af kommercielt tilgængelige instrumenter.

Faciliteter til test af øvrige hardware-komponenter, som fx kvantelyskilder, detektorer, isolatorer, og optiske modulatorer, etableres i det omfang de efterspørges af målgruppen.

### **Måling på enkeltfoton-lyskilder og –detektorer**

Lyskilder, der udsender lys som individuelle (enkelte) lyskvanter (fotoner) og de tilhørende detektorer, er vigtige komponenter inden for fx kvantekryptering og fotoniske kvantecomputere. DFM har under en

tidligere resultatkontrakt udviklet kompetencer til kalibrering af enkeltfotondetektorer ved bølgelængder omkring 1550 nm (telekom-området). Virksomheder som Sparrow Quantum ApS og franske Quandela fremstiller enkeltfoton-lyskilder ved bølgelængder omkring 900 nm. DFM vil udvikle en facilitet til test og karakterisering af enkeltfoton-lyskilder og -detektorer ved 900 nm og samtidig udvikle en 'reference lyskilde', der er let transportabel og kan bruges både til at sende rundt blandt metrologiinstitutioner til sammenligninger på området, og som kan anvendes af producenter og laboratorier som en 'in-house' reference. Referencen vil muliggøre kalibrering af detektionseffektivitet med en usikkerhed på ned til 2 %.

Ud over kalibrering af enkeltfoton-detektorer, vil DFM opbygge kompetencer og faciliteter til karakterisering af enkeltfoton-lyskilder. Renheden af lyskilden karakteriseres typisk ved måling af korrelationsfunktionen  $g^{(2)}(t)$ . DFM's testfacilitet vil kunne bestemme  $g^{(2)}(t)$  med en usikkerhed på 0.05.

### **Demonstrationsprojekt for kvantesensorer**

DFM vil gennemføre et demonstrationsprojekt, hvor en kvantelyskilde anvendes i Raman spektroskopi til sporbare kvanteforstærkede målinger på biomaterialer (fx kræft-celler). Målet er at opnå såkaldt kvante-billeddannelse på biomateriale med 50 % forbedring i signal-støj-forhold sammenlignet med brug af klassisk lyskilde (laser).

### **Standardiseringsaktiviteter**

DFM deltager i dag i standardiseringsudvalget *Quantum Technologies (S-874)*. For at varetage danske interesser inden for kvanteteknologi vil DFM intensivere standardiseringsaktiviteterne og søge deltagelse i internationale initiativer under fx ISO/IEC og CEN-CENELEC. Det er specielt relevant med dansk deltagelse inden for de mere modne teknologier som kvantekryptografi og *quantum random number generation*. DFM vil samarbejde med NPL omkring metrologiindholdet i kommende standarder. NPL har i dag en ledende position globalt omkring udvikling af nye standarder til kvanteteknologi<sup>3</sup>.

### **Kortlægning af danske aktørers nuværende og fremtidige behov**

DFM og FORCE Technology vil samarbejde omkring en kortlægning af danske aktørers nuværende og forventede fremtidige behov inden for kvanteteknologi. Kortlægningen vil baseres på direkte møder med aktørerne (se afsnit 4 ovenfor) samt ved brug af værktøjer til online kortlægning af behov. Kortlægningen vil primært baseres på data fra virksomheder og videninstitutioner, som i dag har aktiviteter inden for kvanteteknologi. Kortlægningen vil i første omgang fokusere på behov for testfaciliteter til kvante-hardware og standardiseringsbehov, men kan bredes ud til også at omfatte fx aktørers behov for adgang til kvantehardware og -software samt behov for viden om branchespecifik optimeringspotentiale ved anvendelse af kvanteteknologi.

### **Videnspredningsaktiviteter**

Videnspredningsindsatsen implementeres i samarbejde med FORCE Technology og vil omfatte gæsteforelæsnings ved danske universiteter, indlæg på konferencer og seminarer, publikationer og rapporter, digital formidling samt møder og planlægning med aktørerne. Se endvidere afsnit 5 ovenfor.

---

<sup>3</sup> *International standards development for quantum technologies (NPL representation and provision of technical expertise)*, NPL Report. TQE 19, <https://eprintspublications.npl.co.uk/9298/>