

Indsatsområde (titel):	Metrologi til digitalisering og datasikkerhed	Evt. nr.:	3
Indsatsområde kort (resumé)			
<p>Digitalisering er afgørende for, at danske virksomheder kan bibeholde og udbygge deres konkurrenceevne i de kommende år. Med øget digitalisering øges behovet for nye teknologier til styrket datasikkerhed, fx ved nye metoder til krypteret udveksling af data. En række af fremtidens teknologier inden for digitalisering og datasikkerhed vil afhænge af en understøttende metrologiinfrastruktur. Nærværende forslag adresserer følgende emner af stor betydning for danske virksomheder: Tidsreferencer til synkronisering i højhastighedsdatakommunikation, udvikling af standarder og valideringsmetoder til komponenter i kvantekrypteringssystemer, kunstig intelligens i automatiseret produktion samt modellering af fremstillingsprocesser ved hjælp af digitale tvillinger.</p>			
1) Målsætninger, aktiviteter og indikatorer			
<p>Danske virksomheders udnyttelse af fremtidens teknologier inden for digitalisering og datasikkerhed er i høj grad afhængig af en understøttende metrologiinfrastruktur. Det er visionen at opbygge denne kritiske digitale infrastruktur, samt at etablere vigtige metrologikompetencer og -ydelser inden for digitalisering og datasikkerhed, der kan afhjælpe de væsentligste markedsfejl, som vil opstå. Indsatsen vil etablere en national tidsreference, hvilket bidrager til styrket IT-sikkerhed for danske virksomheder og myndigheder samtidig med at fremtidens teknologier til trådløs kommunikation understøttes. Indsatsen vil sikre, at danske virksomheder inden for kvanteteknologi får mulighed for at få deres produkter testet i henhold til internationale standarder, hvilket sikrer deres adgang til globale markeder. Endvidere bidrager indsatsen til at styrke danske virksomheders muligheder for at udnytte digitalisering i form af kunstig intelligens og digitale tvillinger i produktionen, hvilket signifikant kan forbedre deres produktivitet og konkurrenceevne.</p> <p>Væsentligste aktiviteter omfatter følgende:</p> <p>Etablering og formidling af national tidsreference</p> <p>Etablering af en national tidsreference, som kan distribueres til virksomheder, myndigheder og universiteter via internet og fiberlinks. Det er et nyt metrologiområde i Danmark, og viden hjemtages ved samarbejde med metrologiinstitutioner i Sverige, Norge og Finland, som allerede har etableret en stærk infrastruktur på området. Som en del af videspredningsaktiviteterne udarbejdes informationsmateriale til myndigheder og virksomheder om adgang til pålidelige tidsreferencer og hvorfor de er vigtige for datasikkerheden. Desuden forskes i nye typer laser-baserede frekvensreferencer og distribution heraf. Nationalt planlægges samarbejde med AU, KU, DTU og DeIC.</p> <p><i>Mål år 1:</i> Videnhjemtagning gennem udstationeringsophold ved nordisk NMI.</p> <p><i>Mål år 2:</i> Etablering af dansk tidslaboratorium med første kalibreringsydelser.</p> <p><i>Mål år 3:</i> Dissemination af tid via internet (NTP).</p> <p><i>Mål år 4:</i> Realisering af officiel tidsskala UTC(DK). Ansøgning til Sikkerhedsstyrelsen om NMI status på metrologiområdet "Tid og Frekvens".</p> <p>Metrologi til kvantekryptering og kvantecomputing</p> <p>Forskning i nye målemetoder til specifikation og verifikation af kvantematerialer og komponenter til kvantekryptering og kvantecomputing med henblik på opbygning af en testfacilitet for kvantebaserede systemer og komponenter. Som en del af denne aktivitet deltages i Dansk Standards nye standardiseringsudvalg "Quantum Technologies (S-874)". Alle aktiviteter udføres i tæt samarbejde med danske universiteter og udenlandske metrologiinstitutioner under det Europæiske metrologinetværk for kvanteteknologi (EMN-Q).</p> <p><i>Mål år 1:</i> Design af prototype til nyt DFM-udviklet kvanteprodukt, fx en kvantelyskilde eller en optisk frekvensskifter til kvantelyskilder.</p> <p><i>Mål år 2:</i> Opstart på kalibreringssammenligning med NMI'er og virksomheder inden for kvantematerialer.</p> <p><i>Mål år 3:</i> To nye ydelser til karakterisering af kvanteprodukter.</p> <p><i>Mål år 4:</i> Test- og valideringsfacilitet til kvanteprodukter etableret. Nyt DFM-udviklet kvanteprodukt markedsført ved international conference.</p>			

Metrologi til kunstig intelligens, dataanalyse og digitale tvillinger i produktion

Forskning i anvendelsen af digitale tvillinger og kunstig intelligens baseret på data fra sensorbaseret overvågning af produktionsprocesser. Der fokuseres på metrologiske udfordringer ved validering af statistiske modeller og usikkerhedsanalyser til dokumentation af kvalitet. Virksomheder inddrages i cases og forskningsprojekter. Aktiviteten gennemføres i samarbejde med FORCE Technology, hvilket øger kontaktfladen over for danske virksomheder og udnytter synergien mellem DFM's metrologividen på højeste niveau og FORCE Technology's kompetencer inden for udvikling og test af IoT produkter. Samarbejde med udenlandske metrologiinstitutioner etableres som EMPIR projekter, og der samarbejdes med danske forskningsgrupper fra bl.a. DTU Mekanik og DTU Compute.

Mål år 1: Udvikling af metode for propagation af måleusikkerhed gennem AI implementering

Mål år 2: Opstart af 2 virksomhedscases med AI og/eller digital tvilling.

Mål år 4: Én kommercielle rådgivningsopgaver, hvor opbyggede kompetencer bringes i spil.

Indsatsens værdi og succes kvantificeres ved følgende indikatorer og tilhørende mål:

	Indikatorer	Mål
1	Nye ydelser totalt	≥ 9
2	Heraf antal ydelser der er akkrediterede	≥ 2
3	Møder med målgruppen	≥ 28
4	Møder og sparring med brancheorganisationer og klynger	≥ 6
5	Industrispecifikke vidensspredningsaktiviteter fx seminarer, webinarer, videomaterialer	≥ 8
6	Andelen af modtagere af indsatsens ydelser, som er tilfredse med kvaliteten (%)	≥ 98
7	Virksomhedscases ¹	≥ 6
8	Nye virksomhedssamarbejdspartnere	≥ 15
9	Publikationer i internationale 'peer-review' tidsskrifter, resultater fra sammenligninger og nye standarder	≥ 13
10	Heraf i samarbejde med repræsentanter fra målgruppen	≥ 9
11	Hjemtag af forskningsmidler ved danske universiteter via projektsamarbejder med DFM (mio. kr.)	≥ 22

2) Indsatsens relevans og potentiale

Behovet for en dansk infrastruktur, der sikrer adgang til nøjagtige og pålidelige tidsreferencer, er stærkt stigende. Øget internethastighed, som fx leveres af 5G mobilnet, sætter nye krav til tidssynkronisering, og kravene forventes kun øget ved fremtidige teknologier til trådløs kommunikation^{2,3}. Ligeledes har finanssektoren behov for mere nøjagtige tidsstempler ved fx aktiehandel for at imødekomme EU direktivet *Markets in Financial Instruments Directive II* (MIFID2)⁴. Det danske el-transmissionsnet kan opnå en bedre udnyttelse af nettet, hvis der implementeres bedre tidsreferencer til at måle faseafvigelser ved 50 Hz⁵. Desuden er pålidelige tidsstempler essentielle teledata ved efterforskning af cyberangreb. Rigspolitiets Nationale Cyber Crime Center anbefaler derfor virksomheder at tidssynkronisere deres netværk^{6,7}. Imidlertid har Danmark ingen officielle tidsservere⁸, og virksomhederne mangler generelt viden og vejledning på området^{7,8}.

Signalerne fra globale navigationssatellitssystemer (GNSS) som fx GPS udgør den mest nøjagtige tidsreference, der er tilgængelig i Danmark, og den benyttes fx inden for telekommunikation. Der er i Danmark ikke

¹ I en virksomhedscase indgår DFM i et samarbejde med en virksomhed. Samarbejdet kan fx bestå i at DFM's generelle kompetencer eller ydelser udvikles/tilpasses på baggrund af en konkret problemstilling i virksomheden, eller at virksomheden bidrager med test emner, som DFM anvender til etablering af bredt anvendelige ydelser.

² Se kommentar på BedreInnovation fra professor Peter Popovski (Aalborg Universitet)

³ Se kommentar på BedreInnovation fra overingeniør Poul Thorlacius-Ussing (Center for Cybersikkerhed, FE)

⁴ Se kommentar på BedreInnovation fra kontorchef Helle Søby Thygesen (Børsmæglerforeningen)

⁵ Det Tværministerielle Rumudvalgs rapport *Denmark's economic vulnerability to a loss of satellite-based PNT*, 2019

⁶ Rigspolitiets Nationale Cyber Crime Center *Forholdsregler ved brud på it-sikkerhedssystemer*, 2018

⁷ Se kommentar på BedreInnovation fra Leder af teknisk kvalitets team Rasmus Riis Kristensen, Nationalt Cyber Crime Center i Rigspolitiet (NC3)

⁸ Se kommentar på BedreInnovation fra Poul-Henning Kamp

adgang til jordbaserede tidsreferencer på tilsvarende nøjagtighedsniveau, og dermed er der ingen redundans i tilfælde af, at satellitsignalerne bliver utilgængelige som følge af fx jamming, spoofing eller solstorme. Konsekvensen er, at Danmark på nogle områder har en unødvendig risiko for nedbrud i vitale dele af den kritiske infrastruktur, som er afhængig af nøjagtig tidssynkronisering^{5,9}. På andre områder er risikoen for nedbrud i infrastrukturen reduceret på bekostning af mulige effektiviseringsgevinster. I konklusionen i Det Tværministerielle Rumudvalgs rapport⁵ står bl.a.:

”Imidlertid har samfundsvigtige virksomheder, som Energinet, udvist behørig skepsis overfor GNSS, og givet afkald på effektivitetsgevinster pga. den sårbarhed, der er forbundet med en stor afhængighed af en enkelt [tids]kilde.”

I flere af vores nabolande er metrologi til tid og frekvens i øjeblikket et af de højest prioriterede metrologiområder. Eksempelvis har den britiske regering inden for det sidste år investeret 36 mio. pund i et nationalt tidscenter for at afværge de samfundsmæssige konsekvenser ved et længerevarende GNSS nedbrud¹⁰

Atom-ure er baseret på kvanteteknologi, hvor atomare resonansfrekvenser fungerer som frekvensreferencer. Cæsium atomure, som fx anvendes i GPS satellitter, er kommercielt tilgængelige og forventes at indgå i DFM's planlagte tidslaboratorium.

Fremadrettet vil kvanteteknologi få yderligere samfundsmæssig indflydelse, specielt når teknologier som ”kvantecomputing” og kvantekrypteret datakommunikationer bliver tilgængelige. Der er allerede en intens global konkurrence på området, og multinationale firmaer som Google, IBM og Microsoft investerer kraftigt i kvanteteknologi. Desuden er der de seneste år etableret store offentlige forskningsprogrammer på området, herunder EU's 1 mia. EUR FET Flagship on Quantum Technologies. Den samlede globale offentlige investering i kvanteteknologi estimeres til 22 mia. USD¹¹. Danmark har i dag en stærk forskningsposition inden for kvanteteknologi til kvantecomputing og datakommunikation. Dette understreges af, at Microsoft har investeret > 100 mio.kr i udvikling af verdens første modulære kvantecomputer ved Københavns Universitet (*Station Q Copenhagen*). Desuden indgår kvantesimulering af komplekse (molekylære) processer som et af fire emner i Novo Nordisk Fondens 480 mio. kr. *Challenge Programme 2020*¹². Udviklingen af nye kvantematerialer med potentielle anvendelser inden for kvantecomputing forudsætter nye måleteknikker, som kan verificere materialernes egenskaber.

De første ”universale kvantecomputere” forventes realiseret inden for 10-15 år¹³. Der forudses en række anvendelsesmuligheder af kvantecomputeren, hvor dens overlegne kapacitet kan løse problemstillinger, som aldrig vil kunne løses med nutidens ”klassiske” computere. Eksempelvis vil kvantecomputeren kunne anvendes til simulering og analyse af nye avancerede materialer, fx inden for ny medicin¹² og til katalytiske materialer, der kan løse udfordringer i den grønne omstilling¹⁴. En anden anvendelse er optimering af fremstillingsprocesser¹³. Implementering af sensorer i en automatiseret fremstillingsindustri kan forbedre effektivitet og produktkvalitet gennem feedback fra sensordata til procesparametre. Dataanalysen bliver dog udfordret, når der genereres meget store mængder flerdimensionelle sensordata med høj hastighed, som fx når der anvendes sensorer i form af multispektrale kameraer. Kvantecomputeren vil kunne analysere komplekse data ekstremt effektivt¹³, men teknikker som kunstig intelligens (AI) og digitale tvillinger kan allerede i dag inddrages i dataanalyse til optimering af fremstillingsprocesser, reduktion af ressourceforbrug og minimering af nedetid. Metrologi er et væsentligt element, når sensorer, AI og digitale tvillinger implementeres i fremstil-

⁹ Se kommentar på BedreInnovation fra Tommi Sørensen, GOMeasure ApS.

¹⁰ <https://www.gov.uk/government/news/worlds-first-timing-centre-to-protect-uk-from-risk-of-satellite-failure>

¹¹ <https://www.qureca.com/overview-on-quantum-initiatives-worldwide/>

¹² <https://challenge.novonordiskfoundation.com/news/novo-nordisk-foundation-to-focus-on-quantum-simulators-to-advance-the-understanding-of-complex-processes-and-push-the-development-of-tomorrows-medicines/>

¹³ OIDA, "OIDA Quantum Photonics Roadmap: Every Photon Counts," OIDA Report, 3 (2020)

¹⁴ "Enabling the quantum leap - Quantum algorithms for chemistry and materials", Report on a National Science Foundation workshop, Alexandria, Virginia: January 21-24, 2019

lingsprocesser eller direkte i nye sensorprodukter. Behovet for at udvikle kompetencer på dette område understøttes af kommentarer på BedreInnovation fra 11 virksomheder¹⁵, Dansk Industri, Plastindustrien, Energy Innovation Cluster, DAMRC og flere forskningsinstitutioner. Behovet understreges desuden af, at danske virksomheder anvender kunstig intelligens i mindre grad end i sammenlignelige lande¹⁶, på trods af at der eksisterer et væsentligt potentiale for industriel digitalisering. Potentialet ses ved at digitalt avancerede industrivirksomheder i gennemsnit vokser 1,8 procentpoint hurtigere end andre industrivirksomheder¹⁷.

Når kvantecomputeren realiseres, vil den effektivt kunne bryde krypteringsalgoritmer, som i dag anvendes til fortrolig kommunikation mellem fx banker, datacentre og myndigheder¹³. Det er en udfordring allerede nu, da krypterede fortrolige data som stjæles i dag senere vil kunne dekrypteres, når kvantecomputeren bliver tilgængeligt. Kvantekryptering er betegnelsen for krypteringsmetoder, der bygger på kvantefysikkens principper og helt fundamentalt aldrig kan brydes. Da nutidens krypteringsalgoritmer ikke forventes at forblive sikre, er der en stor interesse i udvikling af kvantekryptering. I februar 2020 underskrev erhvervsministeren EuroQCI-erklæringen¹⁸, der vedrører et europæisk samarbejde om udvikling af en kvantekommunikationsinfrastruktur. Forventningerne til dette samarbejde kan kun fuldt indfries, hvis der udvikles internationale standarder for området samt etableres testfaciliteter for komponenter og produkter til kvantekryptering. Det er vigtigt, at vi fra dansk side er med til at definere de fremtidige standarder inden for kvantekommunikation, som bliver et vigtigt redskab i at fremtidssikre danske virksomheders konkurrenceevne¹⁹. En dansk testfacilitet for kvanteprodukter til bl.a. kvantekryptering og kvantecomputing er ligeledes essentiel for at understøtte kommercialisering af universiteternes forskningsaktiviteter og fremtidssikre konkurrenceevnen i den spirende danske kvanteindustri. Behovet for en testfacilitet understøttes af kommentarer på BedreInnovation fra 6 virksomheder²⁰ og fra forskere ved blandt andet KU, DTU, AU, og SDU. Herudover har DFM netop vundet to forskningsprojekter finansieret af InnovationsFonden²¹ og EMPIR programmet²², hvor DFM's opgaver består i at udvikle målemetoder til test af komponenter til kvantekryptering. Den succesfulde evaluering af disse to projektsøgninger understreger ligeledes behovet for en dansk testfacilitet. Det globale marked for kvanteteknologi inden for områderne kvantesensorer (herunder nøjagtige tid- og frekvensreferencer), kvantekryptering og kvantecomputing estimeres i 2020 at udgøre 531 mio. USD, voksende op til 9 mia. USD inden for 10 år, og op til 60 mia USD når den universelle kvantecomputer er udviklet¹³. Etablering af en dansk metrologiinfrastruktur på området er essentiel for at sikre danske kvanteteknologi-virksomheders adgang til dette hastigt voksende globale marked. Det vurderes således, at DFM på sigt vil kunne sikre en meget markant værdiskabelse til gavn for nye danske virksomheder ved etablering af aktiviteter på området.

Målgruppen for indsatsens initiativer omkring nøjagtige og redundante tidsreferencer udgøres af virksomheder^{4,5,9,23,24}, myndigheder^{3,5,7,25} og forskningsinstitutioner^{2,26}, med aktiviteter inden for bl.a. telekommunikation, finansielle transaktioner, energiforsyning, og cybersikkerhed. Næsten alle virksomheder har behov for adgang til en troværdig NTP (Network Time Protocol) tidserver for at styrke cybersikkerhed.

¹⁵ AddiFab, Trackman, Coloplast, Copenhagen Nanosystems ApS, Wind Power LAB, Power Curve ApS, Inmold A/S, Fujifilm Diosynth Biotechnologies, Novo Nordisk A/S, NIL Technology, Akasel A/S

¹⁶ Strategi for Danmarks digitale vækst, januar 2018.

¹⁷ Erhvervsfremmebestyrelsen strategi 2020-20203.

¹⁸ <https://em.dk/nyhedsarkiv/2020/februar/erhvervsministeren-underskriver-erklaering-om-teknologi-for-sikker-kommunikation/>

¹⁹ Se kommentar på BedreInnovation fra standardiseringskonsulent Astrid Bækby Knudsen (Dansk Standard).

²⁰ Se kommentarer på BedreInnovation fra virksomhederne SiPhotonic ApS, Sparrow Quantum A/S, QDevil ApS, Microsoft, Single Quantum, Menlo Systems.

²¹ Quantum Cryptography – the Next Generation Data Protection (CryptQ), projektstart 4. Kvartal 2020.

²² Metrology for testing the implementation security of quantum key distribution hardware (METISQUE).

²³ DFM er i dialog med TDC omkring muligt samarbejde på området.

²⁴ Se kommentar på BedreInnovation fra afdelingschef Frank K. Christensen (Naviair).

²⁵ Se kommentarer på BedreInnovation fra chefkonsulent Peter Mandix Sehestedt (Styrelsen for Forskning og Uddannelse) og kontorchef Søren Fauerholm Christensen (Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering).

²⁶ Se kommentarer på BedreInnovation fra professor Michael Drewsen (AU) og head of Cyber Security Section Christian Damsgaard Jensen (DTU).

Målgruppen for indsatsens aktiviteter inden for kvanteteknologi omfatter virksomheder²⁰ og universiteter, der enten arbejder mod kommercialisering af kvanteteknologi eller leverer kritiske komponenter til området (fx lyskilder og detektorer). Virksomheder og institutioner med behov for sikker kommunikation får indirekte gavn af indsatsområdet når nye krypteringsteknologier bliver kommercielt tilgængelige.

Indsatsens aktiviteter inden for AI og digitale tvillinger er rettet mod højteknologiske fremstillingsvirksomheder¹⁵ med automatiseret produktion inden for bl.a. lægemidler, sprøjttestøbning, 3D print, og nanoteknologi samt virksomheder, der fremstiller avancerede sensorer og måleinstrumenter.

Målgruppernes behov er afdækket ved følgegruppemøder i igangværende resultatkontrakter, opsøgende dialog og møder med en lang række aktører herunder virksomheder, ministerier og statslige organisationer, deltagelse i netværk omkring kvanteteknologi (Quantum Community DK, QuantumDTU, European Metrology Network for Quantum Technologies EMN-Q²⁷), deltagelse i Nordisk Tid & Frekvens workshop, samt feedback på BedreInnovation.

Indsatsen understøtter flere strategiske fokusområder: *Strategi for Danmarks digitale vækst*, 2018 (kunstig intelligens, sensorer i produktion, IT sikkerhed), *National strategi for cyber- og informationssikkerhed*, 2018 (sikker kommunikation), *National strategi for kunstig intelligens*, 2019 (kunstig intelligens, data af høj kvalitet), *Danmarks Erhvervsfremmebestyrelses strategi*, 2020 (digitale produktionsteknologier, kunstig intelligens, IT-sikkerhed), *FORSK2025* (automatiseret produktion, digitalisering, kunstig intelligens, sensorer, kommunikationsinfrastruktur, kvantecomputing, kvantematerialer, kvantekryptografi), *Forskningsaftalen*, 2020 (kunstig intelligens, kvantecomputing, it-sikkerhed, digital omstilling). Desuden understøttes konklusion og anbefalinger i Det Tværministerielle Rumudvalgs rapport *Denmark's economic vulnerability to a loss of satellite-based PNT*, 2019 (behov for national tidsreference).

3) Markedssvigt og konkurrencesituation

I Europa har ca. 90 % af alle lande et nationalt tidslaboratorium, som realiserer og formidler en national tidsreference samt bidrager med data til den internationale tidsskala UTC. I alle tilfælde er tidslaboratoriet etableret ved det nationale metrologiinstitut (NMI). Der samarbejdes på tværs af lande inden for den europæiske metrologiorganisation EURAMET. Det vil således være naturligt, at et dansk nationalt tidslaboratorium etableres ved DFM, og at DFM som Danmarks NMI indgår i det internationale samarbejde på området. Der er ingen andre danske aktører, som har kompetencer til at opbygge et nationalt tidslaboratorium. Der er ingen risiko for konkurrenceforvridning, og som det ses på BedreInnovation støttes initiativet af vores nordiske naboer²⁸. Da der er tale om en kritisk national infrastruktur, vil den nødvendige redundans og sikkerhed ikke kunne opnås ved at få ydelserne leveret fra nabolandes NMI'er. Det er vigtigt, at uafhængige tidslaboratorier etableres med geografisk spredning for at undgå, at for store regioner påvirkes ved nedbrud i infrastrukturen. Eksempelvis har man alene i Sverige etableret 5 geografisk spredte tidslaboratorier af den type, som planlægges ved DFM, og *National Timing Centre* i Storbritanien fordeles på 8 lokationer.

Metrologi til kvanteteknologi samles og koordineres på Europæisk plan i EMN-Q²⁷, hvor DFM er deltager. Der er ikke andre danske aktører inden for metrologi til kvanteteknologi, og der er ingen risiko for konkurrenceforvridning. Dette underbygges af, at de to øvrige medlemmer af det nye standardiseringsudvalg "Quantum Technologies (S-874)" under Dansk Standard (DTU og QDevil ApS) begge har givet deres støtte til indsatsområdet på BedreInnovation.

Der er potentiale for samarbejde med en række aktører som arbejder med AI, digitale tvillinger, sensorer og IoT med henblik på at automatisere og optimere produktionsprocesser. Det inkluderer både producenter af sensorsystemer, universiteter, GTS institutter og udenlandske metrologiinstitutter. DFM vil adressere metrologiske udfordringer ved validering af statistiske modeller og usikkerhedsanalyser når AI og digitale tvillinger anvendes i produkter og produktionsprocesser. Det er kun nationale metrologiinstitutter, som har de nødvendige metrologikompetencer på dette område, og DFM vil blandt andet samarbejde med kolleger fra Holland (VSL) og Tyskland (PTB), der begge har støttet forslaget på BedreInnovation. Metrologiaktiviteterne

²⁷ <https://www.euramet.org/european-metrology-networks/quantum-technologies/>

²⁸ Se kommentarer på BedreInnovation fra Senior Scientist Sven-Christian Ebenhag (RISE Research Institutes of Sweden) og Sjefingeniør Harald Hauglin (Justervesenet).

koordineres med vores nabolande gennem det netop etablerede *European Metrology Network on Smart Specialisation in the Nordic Baltic Region*. Aktiviteterne har et andet fokus end Alexandra instituttets aktiviteter, men søges koordineret over perioden i takt med udvikling af nye kompetencer og ydelser fra begge institutter.

FORCE Technology deltager som partner i nærværende indsatsområde, og vi vil udnytte hinandens netværk og faglige kompetencer inden for metrologi og IoT til at iværksætte projektsamarbejder og fælles virksomhedscases med danske virksomheder.

De fleste ydelser udviklet under indsatsområdet bliver udbudt direkte til slutbrugere. Distribution af tid og optiske frekvensreferencer på højt nøjagtighedsniveau kræver samarbejde med en netværksoperatør. Danish e-Infrastructure Cooperation (DeIC), som har støttet indsatsområdet på BedreInnovation, leverer netværksinfrastruktur til de danske forskningsinstitutioner. DFM er desuden i dialog med TDC omkring muligt samarbejde på området.

DFM vil løbende overvåge markedssituationen og bringe denne op på følgegruppemøder.

4) Vidensspredning og inddragelse i indsatsområdet

Udover følgegruppen vil indsatsen inddrage målgruppen gennem en række tiltag. Det væsentligste tiltag er etablering af eksternt finansierede projektsamarbejder med deltagere fra målgruppen. Igangværende forskningsprojekter, som videreføres i indsatsområdet, er angivet nedenfor i afsnit 9. Herudover gennemføres virksomhedscases som beskrevet ovenfor. I samarbejde med virksomhederne udarbejdes videoer og webinarer med resultater fra projekter og virksomhedscases, som offentliggøres via indsatsområdets webside. Desuden inviteres virksomheder og institutioner fra målgruppen til at give indlæg på de seminarer, der afholdes som en del af indsatsområdets generelle vidensspredningsaktiviteter. Indsatsområdets forskningsresultater vil resultere i fælles publikationer og conferencebidrag med samarbejdspartnere fra målgruppen. Kvantitative mål for vidensspredningsaktiviteter er angivet i afsnit 1.

DFM vil benytte kontakter i nationale netværk (fx Danish Quantum Community, som er beskrevet i afsnit 6), kontakter i brancheforeninger (fx Plastindustrien og Dansk Industri), samt følgegruppen (beskrevet nedenfor) til at sikre, at vidensspredningsaktiviteterne når bredt ud til målgruppen. Endvidere planlægges mere end 20 direkte møder med virksomheder i målgruppen.

Inden for aktiviteten om en national tidsreference vil DFM samarbejde med Center for Cybersikkerhed og bidrage med metrologi-input til deres planlagte behovsundersøgelse til afdækning af det sektorielle behov for tidsstyring³. Herudover udarbejdes materiale til information af danske virksomheder om, hvordan IT sikkerhed styrkes ved anvendelse af en pålidelig tidsreference, hvilket efterspørges i kommentarer på BedreInnovation²⁹. Der søges samarbejde med Danish Hub for Cybersecurity og Rigspolitiets Nationale Cybercrime Center omkring udarbejdelse og formidling af informationsmaterialet.

En række kommercielle aktører inden for kvanteteknologi har efterspurgt en validering af deres interne målemetoder på nanoskala. DFM vil derfor koordinere en kalibreringssammenligning på testemner med nanoskala strukturer i et design, der er særligt relevant for fremstilling af kvantematerialer. Sammenligningen forventes at få deltagelse af udenlandske NMI'er, universiteter og kommercielle aktører.

DFM og FORCE Technology vil samarbejde med klyngeorganisationer som DAMRC og Energy Innovation Cluster omkring identifikation af virksomhedscases inden for anvendelse af kunstig intelligens og digitale tvillinger i fremstillingsindustrien³⁰. FORCE Technology og DFM vil samarbejde omkring vidensspredning på dette fælles aktivitetsområde. Desuden fortsættes den opsøgende dialog med aktører og interessenter for at sikre, at udviklet infrastruktur og ydelser matcher målgruppens behov.

Indsatsområdets følgegruppe består af deltagerne fra del-følgegrupperne beskrevet nedenfor. Den samlede følgegruppe mødes årligt til et fysisk møde. Feedback fra gruppen inddrages i etablering af nye aktiviteter og

²⁹ Se kommentarer på BedreInnovation fra Thomas Hedberg, Poul-Henning Kamp og Rasmus Riis Kristensen (National Cyber Crime Center)

³⁰ Se kommentarer fra DAMRC og Energy Innovation Cluster på BedreInnovation.

udvikling af nye ydelser inden for indsatsområdet. Det er muligt at tilpasse følgegruppens sammensætning under hensyn til ændringer i indsatsområdets aktiviteter.

Der vil for hver aktivitet under indsatsområdet blive etableret en mindre del-følgegruppe med deltagere fra mindst 2 virksomheder eller brancheforeninger og 2 forskningsgrupper ved danske universiteter. Deltagerne i del-følgegrupperne udvælges, så de både er repræsentative for aktivitetens målgruppe og har en høj faglig kompetence på området. Der afholdes årligt 2 online møder med hver del-følgegruppe. Del-følgegrupperne vil bidrage med faglig sparring omkring forskningsaktiviteter og give input til optimering af aktivitetens effekt i forhold til målgruppen, fx gennem specifikation af nye ydelser.

På nuværende tidspunkt er der tilsagn til deltagelse i følgegruppen fra følgende interessenter: TDC NET A/S (tid), RISE Research Institutes of Sweden (tid), Sparrow Quantum A/S (kvantemetrologi), DTU (kvantemetrologi), DAMRC (AI/digital tvilling) og Dansk Industri (AI/digital tvilling).

5) Nyhedsværdi og ambitionsniveau

Indsatsområdet har et meget højt ambitionsniveau med et stort indhold af forskning på højeste internationale niveau, hvilket understøttes af de 24 universitetskommentarer på BedreInnovation. Forskningsaktiviteterne omfatter blandt andet optiske frekvensreferencer til distribution i fibernetværk, direkte link mellem optiske frekvenser og mikrobølgefrekvenser, nye præcise målemetoder til udmåling af kvanteprodukter, nye typer kvantelyskilder samt generelle metoder til usikkerhedsberegning når der anvendes AI, digitale tvillinger og invers modellering. Flere af forskningsaktiviteterne er rettet mod udvikling af udstyr, som efterfølgende kommerialiseres. Her fokuseres i høj grad på forholdet mellem udstyrets metrologiske performance og SWaP-C faktor³¹, hvilket maksimerer afsætningsmulighederne. Dette fokus var afgørende for at DFM vandt to flerårige kontrakter for European Space Agency i 2013 og 2019 om kompakte frekvensstabile lasere.

Den nationale tidsreference etableres gennem hjemtagning af viden fra nordiske NMI'er samt udvikling af både kompetencer og faciliteter. Som udgangspunkt baseres tidsreferencen på kommercielle løsninger svarende til tidslaboratorierne i vores nabolande. Resultaterne fra DFM's egen forskning på området implementeres ultimo perioden i tidslaboratoriets ydelser. Indsatsområdets virksomhedscases, som gennemføres i samarbejde med virksomheder, vil i høj grad være udviklingsopgaver og tilpasning af eksisterende viden.

I et fagligt ambitiøst indsatsområde på forkant af markedet er der en naturlig risiko for, at forskningsresultater ikke kan realiseres som planlagt, og at markedsbehov forsinkes. Flere forhold sikrer, at risikoen for nærværende indsatsområde er minimal. Videnhjemtagning og fagligt samarbejde med universiteter og udenlandske NMI'er sikrer en effektiv udnyttelse af ressourcer, især på området Tid og Frekvens, men eksempelvis også via samarbejdet i EMN-Q. Kompetenceoverlap blandt nøglemedarbejdere sikrer, at nødvendige faglige kompetencer er til rådighed. Samarbejdet mellem DFM og FORCE Technology øger kontaktheden til relevante virksomheder og styrker dermed tilpasning af ydelser til markedsbehov. Alle aktivitetsplaner vil indeholde løbende bedømmelser med hensyn til fremdrift i forskningsopgaver og ændringer i markedsbehov, således at aktiviteter kan justeres for maksimal effekt inden for indsatsområdet.

Nye serviceydelser etableres løbende gennem kontraktperioden, således som det er beskrevet under målsætninger i afsnit 1. Da ydelserne generelt etableres på forkant af markedet, forventes størst vækst i ydernes afsætning 3-5 år efter deres introduktion.

6) Indsatsområdets kobling til videns- og innovationssystemet

DFM's aktiviteter gennemføres i samarbejde med andre europæiske NMI'er i regi af metrologinetværkene nævnt nedenfor og med store muligheder for både vidensdeling og videnhjemtagning til de danske interessenter. DFM's forskningsaktiviteter vil være på det højeste internationale niveau, hvilket sikrer at vi kan indgå i den internationale videndeling på området.

DFM har påtaget sig en central rolle i samarbejdet med andre europæiske metrologiinstitutioner inden for de nye europæiske metrologinetværk EMN-Q (*Quantum Technologies*), MATHMET (*Mathematics and Statistics*), SmartMetNet (*Smart Specialization in Nordic Baltic Region*) samt i EMPIR projekterne MeTISQ

³¹ Size, Weight and Power with Cost (<https://www.baesystems.com/en-us/definition/what-is-swap-c>)

(kvantekryptering), BeCOMe (kvanteoptik og matematisk modellering med bl.a. DTU), Met4Wind (digital tvilling til vindmøller sammen med bl.a. DTU og Vestas). Desuden er DFM medansøger på følgende 4 EM-PIR projekter i 2020-kaldet inden for kvantemetrologi: *Single- and entangled photon sources for quantum metrology*, *Pushing boundaries of nano-dimensional metrology by light*, *Combined photonic and quantum sensors for practical primary thermometry*, og *Quantum sensors for metrology based on single-atom-like device technology*. DFM har fra 2019 været deltager i TC-TF (Euramets tekniske komité for tid og frekvens) og i den årlige Nordic Time & Frequency workshop afholdt i samarbejde med de nordiske NMI'er. DFM vil desuden samarbejde med europæiske metrologiinstitutter om digitalisering i produktion inden for det europæiske metrologinetværk AdvManuNet (avanceret produktion), som er under etablering. Der er inden for samme område netop etableret projektsamarbejde med den spanske videninstitution Cidetec sammen med SMV'erne Copenhagen Nanosystems ApS og Inmold A/S i projektet NanoMeas (*AI for improving lab-on-a-chip nanoparticle measurements*).

Nationalt deltager DFM i Danish Quantum Community (DQC) sammen med danske universiteter, brancheorganisationer og en række virksomheder fra kvanteteknologi-startups til Microsoft Danmark. Organisationen vil koordinere den danske indsats og sikre videndeling og synlighed omkring kvanteindustriens fremtidige store betydning. DQC vil være vigtig for at inddrage den danske målgruppe i gennemførelse af indsatsområdet og til videreformidling af indsatsområdets resultater.

Herudover er DFM aktiv i netværket QuantumDTU (DTU center for kvanteteknologi), og DFM har nationale projektsamarbejder med universiteterne AU (optiske frekvensreferencer i projektet Xstable), KU (kvanteoptiske målemetoder og kvantelyskilder i projektet Q-GWD) samt DTU (kvantekryptering i projektet CryptQ). Der planlægges desuden samarbejde med AAU om tidssynkronisering til mobilnetværk (5G). Inden for digitalisering i produktionsprocesser samarbejdes med bl.a. Plastindustrien, DTU Compute, DTU Mekanik samt FORCE Technology.

De etablerede samarbejder, som er anført ovenfor, vil i kontraktperioden blive udvidet ved igangsættelse af nye eksternt finansierede forskningsprojekter inden for indsatsområdet. Arbejdsdelingen mellem DFM og samarbejdspartnere beskrives i projektansøgningerne. I nationale samarbejder er DFM's primære rolle altid at adressere de metrologiske udfordringer inden for projektet. Eksempelvis er det i CryptQ DFM's ansvar at udvikle målemetoder til test af komponenter til kvantekryptering.

Konkret for dette indsatsområde planlægges et udstationeringsophold af ca. 3 måneders varighed ved et af de nordiske NMI'ers tidslaboratorium for at sikre en effektiv videnhjemtagning på området.

7) Sammenhæng med instituttets strategi og afsæt i instituttets ressourcer

Etablering af aktiviteter inden for digitalisering, med fokus på tidsreferencer, kvanteteknologi og AI, har strategisk betydning for DFM's opfyldelse af sin mission³². Digitalisering er defineret som et "Must Win Battle" for DFM i den kommende periode.

DFM har i indeværende periode analyseret fremtidige metrologibehov i Danmark. Det forslåede indsatsområde adresserer en samfundsmæssig udfordring omkring kritisk infrastruktur for tidsreferencer, afhjælper en "markedsfejl" ved at etablere en essentiel testfacilitet for kvanteteknologifødekæden i Danmark, og adresserer efterspurgt kompetencer inden for metrologi til AI og digitale tvillinger.

DFM har i dag forskningskompetencer og -ressourcer på et højt internationalt niveau og adgang til et meget stærkt internationalt netværk af forskningsorganisationer. DFM har etableret stærke kompetencer inden for kvantemetrologi, matematisk modellering og opbygning af digitale tvillinger via igangværende resultatkontrakter "Kvantemetrologi", "Overflademetrologi til fremtidens produktion" og "Metrologisk Forskning og Udvikling". DFM's tidligere aktiviteter inden for udvikling af frekvensstabile lasere, herunder udviklingen af den acetylenstabiliserede laser til et succesfuldt kommercielt kvanteteknologiprodukt, danner grundlag for forskningsaktiviteterne inden for aktiviteten om en national tidsreference. Herudover vil DFM hjemtage og opbygge viden inden for etablering, drift og distribution af tid og frekvens i tæt samarbejde med de øvrige nordiske NMI'er, som i dag er væsentligt foran Danmark på dette område.

³² Afsnit 2.1 i strategiplanen

DFM har i dag faciliteter til at gennemføre indsatsen, bortset fra udstyr til etablering af en national tidsreference med sporbarhed til UTC tidsskalaen, som vil blive etableret i perioden enten med ekstern finansiering eller egenfinansieret.

Kvanteteknologi udviklet i nærværende indsatsområde vil finde anvendelse i DFM's forslag til indsatsområde "Metrologisk forskning og udvikling" til bl.a. kvanteforstærket mikroskopi med "life science" anvendelser. Desuden er der en naturlig relation mellem metrologi til kunstig intelligens, dataanalyse og digitale tvillinger i produktion, som adresseres i nærværende indsatsområde, og aktiviteter omkring avanceret produktion i indsatsområdet "Metrologisk forskning og udvikling".

Indsatsen understøtter FORCE's strategi om at bidrage til succesfuld digital transformation af såvel produkter, produktion, services og forretningsmodeller. Indsatsen tager afsæt i FORCE Technology's ressourcer omkring IoT, servitization, digital supply chain og digitale tvillinger. Dertil kommer at indsatsen understøtter udvikling af Center for Datavalidering i indsatsen IoT-drevet forretningsdesign – digitalisering af virksomheder og samfund.

8) Konkrete aktiviteter

Nedenstående aktivitetsforslag er prioriteret i tæt samarbejde med målgruppen og adresserer de primære danske metrologibehov inden for digitalisering og datasikkerhed. Aktiviteterne har flere naturlige indre sammenhænge. Emnet cybersikkerhed adresseres både ved etablering af en national tidsreference og ved metrologi til kvantekryptering. Udvikling af optiske tid- og frekvensreferencer anvender optiske teknologier, som er tæt beslægtet med planlagt arbejde inden for kvantecomputing/-materialer og kvantekryptering. Ultra-stabile atomure anvendes til tidsmetrologi, men er også grundlaget for flere anvendelser af kvantesensorer¹³. Kvantecomputing og AI er hver for sig effektive teknologier til håndtering af store datamængder, men der forskes nu også i *Quantum Artificial Intelligence* (QAI)³³, som kombinerer de to teknologier. Et generelt stort teknologi- og kompetenceoverlap sikrer en stærk synergi på tværs af aktiviteterne.

a) Etablering og formidling af national tidsreference

Aktiviteten vil etablere en kritisk dansk infrastruktur inden for metrologiområdet "tid & frekvens", hvor der ikke tidligere har været aktiviteter i Danmark. Som en del af infrastrukturen opbygges en national tidsreference, som kan formidles til virksomheder, myndigheder og universiteter via en fiberforbindelse. Tidsreferencen baseres på kommercielle ure, fx to cæsium ure, der sammenlignes med ure ved udenlandske NMI'er for at sikre sporbarhed. Viden om opbygning og drift af en national tidsreference hjemtages via samarbejde med tidslaboratorier i nabolande²⁸. Forskningsaktiviteterne inkluderer nye typer laser-baserede frekvensreferencer. Desuden udvikles en ny type "optisk frekvenskam", der bl.a. kan fungere som et link mellem optiske frekvenser og mikrobølgefrekvenser. DFM's kommercielle frekvensstabile laser³⁴ anvendes som frekvensreference for frekvenskammen. Konkrete ydelser fra aktiviteten inkluderer kalibrering af signalgenerators og tidsmåleudstyr på højeste nøjagtighed³⁵ samt formidling af nøjagtige tidsreferencer.

b) Metrologi til kvantekryptering og kvantecomputing

Aktiviteten vil etablere en testfacilitet for kvanteteknologi, hvor kvantematerialer, -komponenter og færdige produkter kan testes og valideres³⁶. Dette inkluderer test af optiske komponenter til kvantekryptering, fx³⁷ fasemodulatorer, homodyn-detektorer og enkeltfoton-detektorer. Herudover udvikles test af lyskilder til kvanteteknologi, fx³⁷ frekvensstabile lasere og enkeltfoton-lyskilder. DFM's stærke kompetencer inden for kvanteoptik vil blive udnyttet til forskning i og udvikling af nye optiske kvanteprodukter, som er særligt interessante for danske og udenlandske forskningsinstitutioner. Mulige produkter inkluderer en ny type kvan-

³³ https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_artificial_intelligence

³⁴ Med produktnavnet Stabiλaser 1542

³⁵ Kalibreringsydelser efterspurgt på BedreInnovation af bl.a. DANAK.

³⁶ Efterspørges på BedreInnovation af bl.a. SiPhotonics ApS, Sparrow Quantum A/S, Microsoft, Single Quantum, DTU, KU, og AU.

³⁷ De nævnte komponenter og lyskilder er essentielle i kvantekrypteringssystemer baseret på enten "continuous wave" eller "single photon" principperne, som adresseres i hhv. CryptQ og METISQUE projekterne.

telyskilde, der bl.a. kan bruges til måling af fotodioders kvanteeffektivitet med høj følsomhed, samt en optisk frekvensskifter til kvantelys, som bevarer lysets særlige kvanteegenskaber. Desuden vil DFM deltage aktivt i Dansk Standards nye standardiseringsudvalg ”Quantum Technologies (S-874)”.

c) Metrologi til kunstig intelligens, dataanalyse og digitale tvillinger i produktion

Denne aktivitet gennemføres i et samarbejde mellem DFM og FORCE Technology. Aktiviteten omfatter forskning og videnspredning inden for anvendelsen af digitale tvillinger og kunstig intelligens (AI) på data fra sensorbaseret overvågning af produktionsprocesser samt anvendelse af AI i nye måleinstrumenter³⁸. Kontinuerlig overvågning og analyse af sensordata kan bruges til realtidskorrektion af procesparametre, hvorved der opretholdes en ensartet høj produktkvalitet. Maksimalt udbytte af denne teknologi kræver dog kalibrerede sensorer og kvantificering af måleusikkerheder. Herved kan produktionen køres tættere på tolerancegrænser, hvilket sparer både energi og råstoffer. Trådløs kommunikation mellem digitale sensorer (IoT) bidrager til effektiviseringen, men pålidelig kommunikationen på tværs af producenter og applikationer kræver yderligere standardisering. Inden for aktiviteten udvikles metoder for propagation af sensorers måleusikkerhed gennem digitale tvillinger og AI implementeringer. Disse metoder anvendes i konkrete cases i samarbejde med virksomheder, fx ved inspektion af vindmøllevinger. DFM har tidligere erfaring på dette område gennem EUDP projektet ”Leading Edge Roughness” samt det netop påbegyndte EMPIR projekt ”Metrology for enhanced reliability and efficiency of wind energy systems” med deltagelse af bl.a. DTU, AU og Vestas. FORCE Technology har ligeledes stærke kompetencer på området og har bl.a. udviklet og markedsført en automatisk scanner til NDT-inspektion af vindmøllevinger³⁹.

³⁸ Som eksempel har Copenhagen Nanosystems ApS på BedreInnovation foreslået kunstig intelligens til partikelgenkendelse og inverse modellering til industrielle anvendelser.

³⁹ <https://forcetechnology.com/da/ydelser/ultra lyd-inspektion-udstyr-pscan-vind>