

Regeringen

National Strategi for Kvanteteknologi

Del 2 - Kommercialisering,
sikkerhed og internationalt samarbejde

SEPTEMBER 2023

National Strategi for Kvanteteknologi
Del 2 - Kommercialisering, sikkerhed og internationalt samarbejde

September 2023

Erhvervsministeriet
Slotsholmsgade 10-12
1216 København K

Tlf. : +45 33 92 33 50
E-mail: em@em.dk

ISBN 978-87-94224-51-2 (trykt version)
ISBN 978-87-94224-52-9 (digital version)
2022/23:11

Publikationen kan hentes på
www.regeringen.dk
www.em.dk

Fotokreditering;
Side 6 Foto: DTU Nanolab
Side 8 Foto: Maja Mohr Mortensen, Erhvervsministeriet
Side 17 Foto: Bax Lindhardt

Indhold

Indhold	3
Forord	4
Indledning	6
Målsætning	12
Oversigt over initiativer	13
Indsatsområde 1: Kommercialisering af kvanteteknologi	14
Indsatsområde 2: Sikkerhed som et fundament for den kvanteteknologiske udvikling	18
Indsatsområde 3: Fremme af danske kvanteinteresser internationalt	20
Bilag	22

Forord

I 1922 fik Niels Bohr nobelprisen i fysik for sin beskrivelse af atomers struktur og kvanteteori. Det revolutionerede fysikken og naturvidenskaben, og selvom verden ikke har stået stille siden da, så runger Bohrs arv og navn videre.

I 2023 har Danmark stadig en ledende rolle inden for forskning i kvanteteknologi og nyder stor international anerkendelse. Det giver os en unik mulighed for at indfri nogle af kvanteteknologiernes massive potentialer. Det gælder for forskning, men også for evnen til at omsætte viden til løsninger, der gavner samfund, erhvervsliv og den nationale sikkerhed. Løsninger, der kommer både verden og den enkelte borger til gode.

På grund af den markant forøgede regnekraft forventes kvantecomputeren fx at kunne løse meget komplekse problemer, som ikke kan løses af klassiske computere. Kvantemuligheder kan optimere diagnosticering og materiale- og lægemiddelsudvikling, ligesom kvantesensorer kan levere præcise scanninger og være med til at revolutionere navigation, farvandsovervågning samt forbedre ressourcestyring. Samtidig kan kvantekommunikation bidrage til mere sikker kommunikation ved at reducere risikoen for blandt andet dekryptering.

I takt med at vi for alvor begynder at kunne se de kommercielle og civile potentialer, afdækkes truslerne mod vores sikkerhed også. Globalt vil kvanteteknologi få stor strategisk og sikkerhedsmæssig betydning, fordi det vidtrækkende potentiale også kan udnyttes militært og udgør en trussel mod cyber- og informationssikkerheden. Sikkerhed er med andre ord en nødvendig del af arbejdet med

kvanteteknologi. For i en verden med geopolitiske spændinger affødt af blandt andet krig i Europa og globalt teknologikapløb er der høje krav til en lille, åben økonomi som Danmark.

Lande verden over investerer intenst i kvanteteknologi – særligt USA og Kina konkurrerer om at ligge i front. Kvanteteknologi er blevet en del af det geopolitiske teknologikapløb. Det understreger vigtigheden af tætte internationale partnerskaber med ligesindede lande. Danmarks kompetencer er globalt efterspurgt, hvilket giver os mulighed for at fastholde en fremtrædende rolle på den internationale scene. Derfor skal vi samarbejde med ligesindede lande om kvanteteknologi for at understøtte vores teknologiske suverænitet og sikkerhed.

Regeringens ambition er, at Danmark skal udnytte det kommercielle potentiale i kvanteteknologi til gavn for dansk erhvervsliv og Danmarks sikkerhed. Denne publikation er anden del af en National Strategi for Kvanteteknologi. Med del 1 er det regeringens ambition, at det høje niveau af finansiering til forskning og innovation fra finansloven 2023 fastholdes, det vil i perioden 2023-2027 betyde en prioritering på 1 mia. kr. Med del 2 prioriterer regeringen yderligere 200 mio. kr. fra 2024-2027 til at styrke kommercialisering, sikkerhed og internationalt samarbejde.

At løfte arven fra Niels Bohr kræver en fælles indsats. Men hvis vi sætter retning og løfter i flok, kan kvanteteknologi være med til at skubbe Danmark langt ind i fremtiden.

God læselyst!

Regeringen



Indledning



Kvanteteknologiens kommercielle potentiale

Kvanteområdet er i hastig udvikling og har potentiale til at blive en fremtidig toneangivende teknologi. Grundlæggende forventes kvantecomputere at levere en markant forøget regnekraft, der rummer store potentialer.

Den første generation af kvanteteknologi var en forudsætning for vores nuværende højteknologiske samfund. Scannere, GPS-navigation, men også halvleder-komponenter som transistorer, lasere, computerchips samt langdistance- og højhastighedskommunikation står på skuldrene af kvanteteknologi.

Nu står vi over for anden generation af kvanteteknologier, som i de kommende år forventes at åbne op for en ligeså ny og anderledes verden. Det gælder fx brugen af kvantecomputere til at udvikle medicin og kvantesensorer til at stille diagnoser eller til forbedret sporing af eksempelvis ubåde, droner, fly og køretøjer.

Hvad er kvanteteknologi?

Kvanteteknologi er en samlet betegnelse for forskellige teknologiske løsninger, der kan anvendes bredt i samfundet. Overordnet kan de såkaldte 2. generations-kvanteteknologier inddeles i fire hovedområder:



Kvantecomputere

En kvantecomputer behandler og gemmer informationer gennem kvantebits i modsætning til en traditionel computer, der bruger bits. Modsat bits, som kan have to værdier, et og nul, kan kvantebits være i en særlig kvantetilstand – en superposition – hvor de principielt kan have alle tænkelige værdier – og derfor kan kvantecomputere meget hurtigt afsøge et enormt udfaldsrum for at finde den optimale løsning på et komplekst spørgsmål. Der arbejdes på at udvikle kvantecomputere ved hjælp af forskellige kvantemekaniske tilgange. Fælles for de forskellige tilgange er, at det er usædvanligt teknisk krævende at udvikle, fremstille og kalibrere praktisk anvendelige kvantecomputere. Derfor forventes en anvendelig kvantecomputer at ligge 10-20 år ude i fremtiden.



Kvantesimulatorer

En kvantesimulator er en simpel kvantecomputer, der adskiller sig ved at være et avanceret modelleringssystem, som kan anvendes til at simulere udvalgte fænomener i den fysiske verden såsom fotosyntese eller specifikke biokemiske processer. Kvantesimulatorer bliver specielt udviklet til at simulere en bestemt situation med et eller flere fænomener fra den fysiske verden.



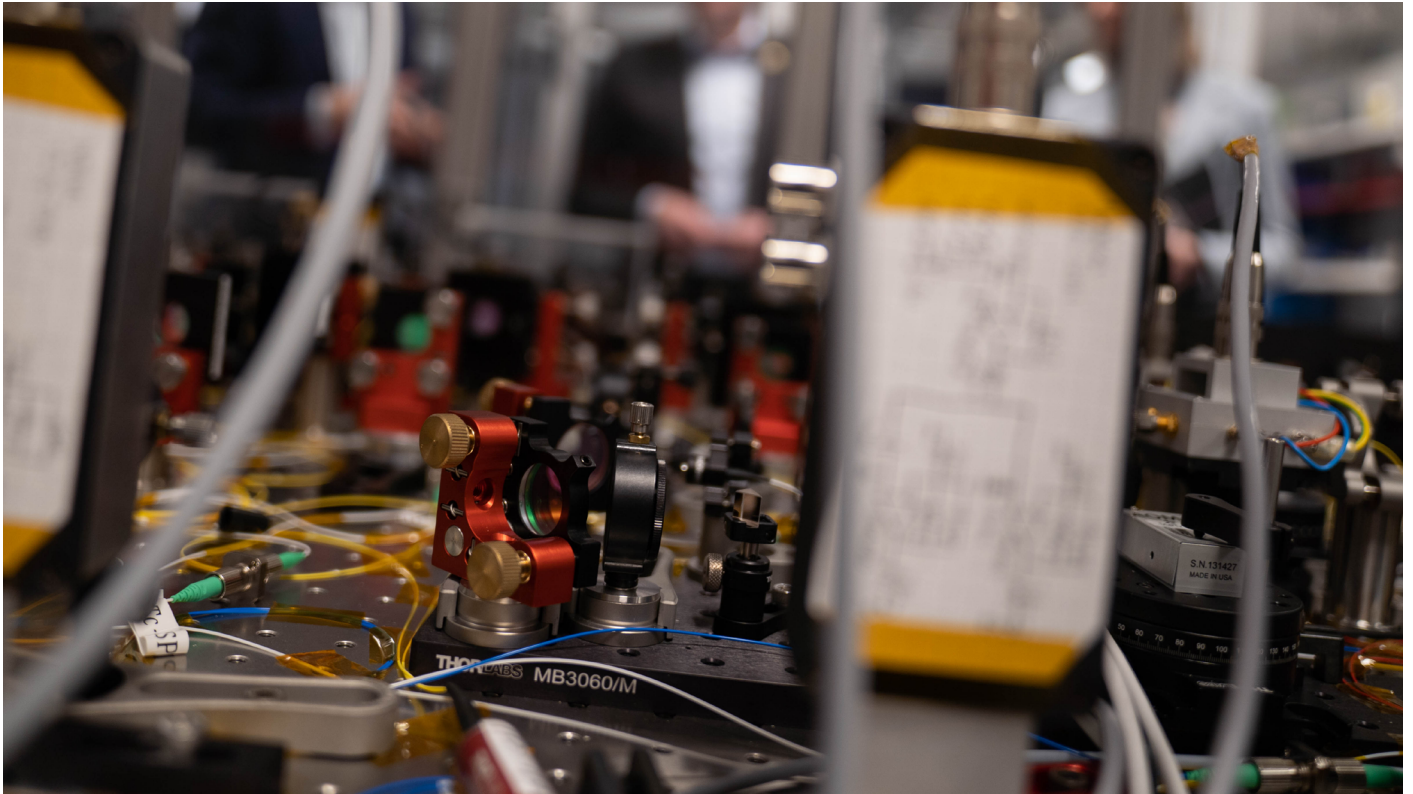
Kvantekommunikation

Der er to overordnede formål med kvantekommunikation. Det ene er beskyttelse af den kommunikation, der sker via almindelige computere mod potentielle kvantecomputerangreb. Det andet er anvendelse af kvanteteknologi til at skabe sikre krypteringsnøgler der udveksles i kommunikationssammenhæng. Inden for kvantekryptering taler man om "quantum key distribution" (QKD). I QKD udnytter man kvantefysikken til at skabe og distribuere krypteringsnøgler, der ikke kan aflyttes eller brydes, og dermed sikre den transmitterede data fra potentielle kvantecomputerangreb og hackerangreb. Alternativt arbejdes også med post quantum kryptering (PQC), som er en metode til sikring af kommunikation, der bruger matematiske algoritmer, som kan anvendes på konventionelle computere, og som dermed i sig selv ikke er kvanteteknologi, men en metode til at beskytte mod potentielle kvantecomputerangreb.



Kvantesensorer/metrologi

Kvantesensorer er sensorer, der er meget følsomme og udnytter kvantemekaniske principper, så de kan måle ultra små variationer fx i magnetfelter, elektriske felter eller tyngdefeltet. Kvantesensorer kan levere målinger med langt større præcision og nøjagtighed end konventionelle sensorer. Det åbner for nye anvendelser i fx medicin, navigation, og avanceret billeddannelse. Kvantemetrologi benytter også kvantesensorer til at definere standarder for blandt andet tidtagning og elektriske målinger.



Civilt kan kvanteteknologier på længere sigt altså være med til at skabe nye landvindinger inden for fx grøn omstilling, sundhed, nye materialer og transport. Løsninger, der kan bidrage til at løse store globale udfordringer. Der ligger selvsagt store kommercielle potentialer i at kunne udvikle og optimere med øget regnekraft.

Selvom mange kvanteteknologiske produkter stadig er i de tidlige modenhedsfaser, er der i dag produkter og løsninger tilgængelige. Den helt store landvinding forventes imidlertid først at komme med kvantecomputeren, som vil kunne udføre beregningsopgaver, der ligger langt uden for rækkevidden af nuværende computerteknologi.

Trusler og udfordringer ved kvanteteknologi

Men kvanteteknologi indebærer også alvorlige trusler og udfordringer, fordi den fundamentalt vil ændre den måde, vi forstår og arbejder med databehandling, kryptering, computerkraft og kommunikation.

Den geopolitiske situation med krig i Ukraine, øget rivalisering mellem USA og Kina og teknologisk kapløb stiller nye krav til en lille, åben økonomi som Danmark og understreger, at erhvervs- og handelspolitik i stigende grad er blevet sikkerhedspolitik.

Kvanteteknologiernes forsvars- og sikkerhedsmæssige potentialer nødvendiggør et fokus på sikkerhed. Kvantecomputeren ventes fx at udgøre en trussel mod cyber- og informationssikkerheden i Danmark, idet regnekraften i fremtiden forventes at kunne bryde nuværende krypteringsløsninger. Det er en alvorlig trussel, fordi en stor del af danske it-systemer dermed vil være sårbare over for angreb.

Og truslen er der allerede i dag, selv om der endnu ikke findes kvantecomputere, som kan bryde den nuværende kryptering. Ondsindede aktører kan indsamle krypteret data med henblik på at dekryptere det i fremtiden, når en tilstrækkelig stærk kvantecomputer er udviklet. Ekspert er ikke enige om, hvornår dette scenarie bliver en realitet, men det er ikke utænkeligt, at tilstrækkeligt stærke kvantecomputere vil være udviklet i 2030. Det er derfor afgørende for vores digitale samfund, at vi så tidligt som muligt øger modstandsdygtigheden i Danmarks kritiske, digitale infrastruktur.

Eksempler på aktiviteter i det danske kvantemiljø

Kvantekommunikation og -kryptering

- Sparrow Quantum bruger enkeltfotonkilder til at udvikle kvante-hardware til brug i skaleringen af avancerede applikationer inden for kvanteinformationsbehandling, sikker kommunikation, kvanteberegning og kvanteinternet.
- Zybersafe deltager i et feltforsøg med quantum key distribution (QKD), og Cryptomathic og Dencrypt leverer produkter, der understøtter cybersikkerheden i henholdsvis større netværk og til mobile enheder.
- Alea Quantum Technologies har udviklet en quantum random number generator, der kan genere tilfældige tal til fx kryptering.

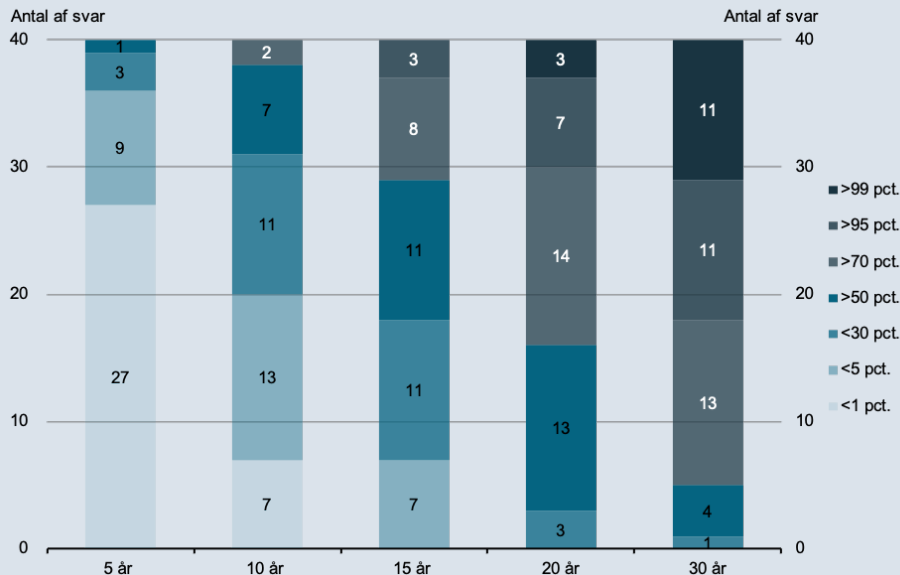
Udnyttelse af kvantecomputere

- Microsoft Development Center arbejder med kvantematerialer og topologiske qubits i deres Quantum Materials Lab i Lyngby. Laboratoriet vil stå i spidsen for at udvikle verdens første skalerbare kvantecomputer.
- Molecular Quantum Solutions udvikler kvantekemiske beregninger med kvantecomputere inden for pharma, bioteknologi og kemiske applikationer til at reducere behovet for trivielle laboratorieeksperimenter.
- Quantum Machines (QDevil) har udviklet styre- og kontrolsystemer til kvantecomputere i form af elektronik og low-level software.
- Kvantify har udviklet kvante-baseret software til medicinal-, finans-, og logistikbranchen, herunder et produkt, der kan anvendes ved udvikling af ny medicin, og løsninger som kan optimere fx afkast fra finansielle porteføljer eller ruteplaner.
- QPurpose har udviklet kvante-algoritmer og -software til brug på tværs af brancher.
- Som en del af et forskningsprojekt, som Novo Nordisk Fonden har finansieret, etableres en IBM Quantum Hub på KU, så udvalgte forskere, herunder fra industrien, kan lære at programmere en kvantecomputer.

Komponenter

- NKT Photonics er en førende leverandør af specialiserede fiberlasere og Danmarks største eksportør af hardware til kvanteindustrien.
- SiPhotonIC fremstiller prototyper af optiske integrerede kredsløb, en specialdesignet silicium-baseret mikrochip der udgør en central hardware-komponent i produkter til kvanteoptik.
- Med sit kvanteteknologiske testcenter udvikler Danmarks Nationale Metrologiinstitut (DFM) nye målemetoder til at karakterisere kvantematerialer samt tester komponenter til brug i kvantekryptering og kvantesensorer.
- Beamfox Technologies har udviklet software, der bruges af universiteter og virksomheder til fabrikation af kvante- og nanokomponenter.
- Quantum Foundry Copenhagen arbejder for at udvikle nye kvantematerialer og -komponenter som en del af Novo Nordisk Foundation Quantum Computing Program (NQCP).

Hvornår kan en kvantecomputer bryde den kryptering, der anvendes i dag?



Anm: Figuren viser data indsamlet fra et spørgeskema, hvor 40 eksperter bliver bedt om at angive sandsynligheden for, at en kvantecomputer, der er kryptografisk relevant kan bryde en RSA-2048 på 24 timer inden for forskellige tidsrammer, fra 5 år til 30 år.

Kilde: 2022 Quantum Threat Timeline Report, Global Risk Institute

- Der er stor usikkerhed om, hvornår en kvantecomputer kan bryde de krypteringssystemer, som anvendes i dag. Er det i løbet af 5 år? Eller er det først om 30 år? 40 eksperter er blevet bedt om at vurdere det.
- Over halvdelen af eksperterne vurderer, at det er usandsynligt (under 5 pct. chance) inden for 5 år.
- Omvendt mener over halvdelen, at det er meget sandsynligt (over 95 pct. chance) inden for de næste 30 år.

Et styrket dansk økosystem

Eftersom dansk kvanteforskning på en række områder vurderes at være i verdensklasse, har Danmark forudsætningerne for på sigt også at kunne skabe en erhvervsmæssig styrkeposition. Men for at kvanteteknologi kan komme både danske virksomheder, civilsamfund og sikkerhed til gode, er der behov for at styrke det danske økosystem for kvanteteknologi.

Der er tale om en relativ ny teknologi, hvor der i disse år er et internationalt kapløb mellem lande om at være på forkant med udvikling og anvendelse af kvanteteknologi. Det gælder især USA og Kina, men flere europæiske lande foretager også store investeringer i kvanteteknologi, ligesom dagsordenen får øget opmærksomhed i EU og NATO. En national strategi sender således et stærkt signal til vores partnere og allierede om Danmarks engagement.

Der er fra national side også hensyn til teknologisk suverænitet, cyber- og informationssikkerhed, privatlivsbeskyttelse og kommercielle interesser.

Der er ligeledes stor konkurrence om de kvanteteknologiske talenter, investeringer og nye virksomheder. Vi skal derfor skabe et attraktivt dansk miljø for kvanteteknologi, som kan udvikle og tiltrække virksomheder, eksperter og investeringer. Et styrket engagement skal videreudbygge det danske kvanteøkosystem og styrke de internationale relationer – også til gavn for vores samarbejdspartnere og vores teknologiske suverænitet. Samtidig skal vi sikre, at danske virksomheder og forskningsinstitutioner er tilstrækkeligt modstandsdygtige til at varetage de sikkerhedsmæssige udfordringer, som kvanteteknologien afstedkommer.

Med de sikkerheds- og forsvarspolitiske udfordringer kan kvanteteknologi få en central betydning for fremtidens globale magtbalance og vores nationale og økonomiske sikkerhed. Derfor er det afgørende, at vores kritiske viden og teknologi ikke havner i hænderne på de forkerte. Det vil blandt andet kræve en massiv sikkerhedspolitisk rådgivningsindsats i det danske kvantemiljø, ligesom vi skal samarbejde med ligesindede lande for at sikre, at teknologien bliver udviklet og anvendt på ansvarlig vis og til gavn for en bedre fremtid.

Forskning og innovation spiller en afgørende rolle for, at det danske samfund og virksomheder på sigt vil kunne udnytte kvanteteknologiens potentialer fuldt ud. Desuden skal forskning og innovation af allerhøjeste kvalitet styrke Danmarks internationale position i den globale konkurrence om udvikling af kvanteteknologi.

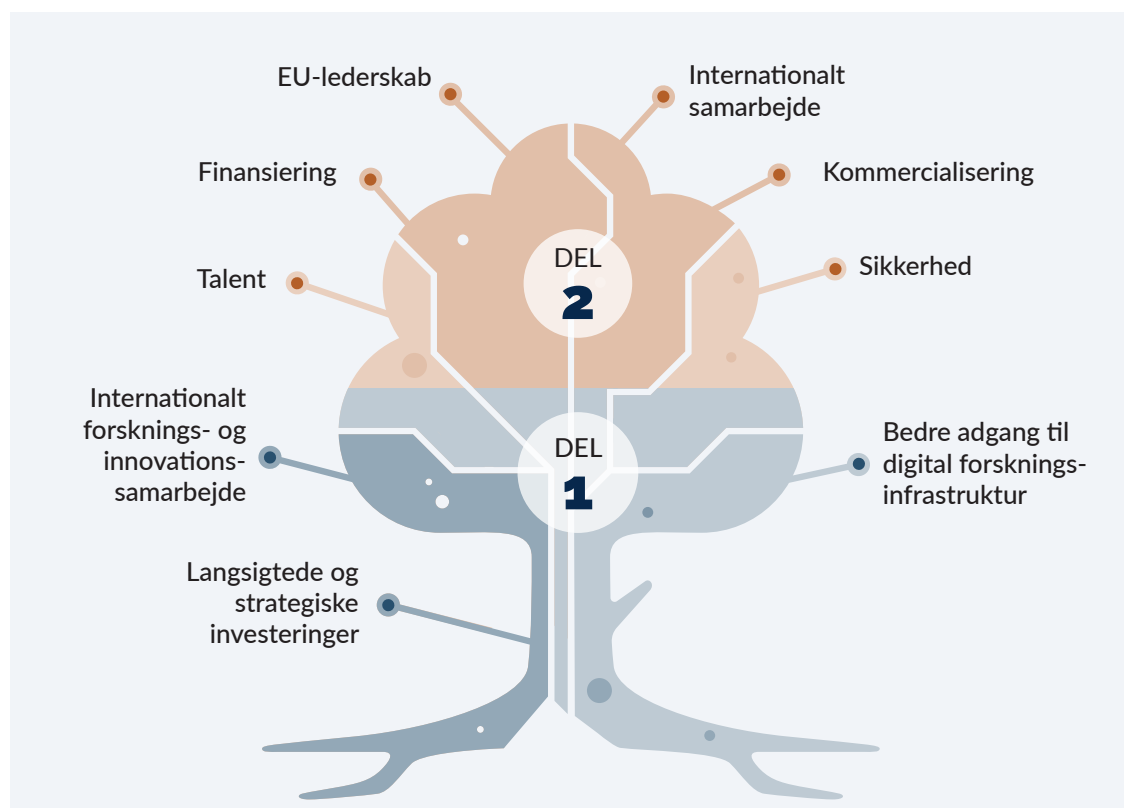
Med del 2 af National Strategi for Kvanteteknologi tager regeringen det næste skridt. Del 2 fokuserer på at styrke det spirende danske kvanteteknologiske økosystem, og understøtte udvikling, kommercialisering og anvendelse af kvanteteknologi i Danmark til gavn for samfund, økonomi, sikkerhed og internationalt samarbejde. Et centralt element i arbejdet er at sikre, at udviklingen sker med fokus på sikkerhed og beskyttelse af dansk kvanteteknologi, ligesom internationale partnerskaber skal bidrage til at skabe de bedst mulige rammer for udvikling af dansk kvanteteknologi.

National Strategi for Kvanteteknologi i to dele

Del 1 af National Strategi for Kvanteteknologi, der blev lanceret i juni 2023, sætter retningen for den danske satsning inden for kvanteforskning og den videnbaserede innovation.



Sammenhæng mellem del 1 og 2



Arbejdet stopper ikke her. Med strategien nedsætter regeringen Nationalt Forum for Kvanteteknologi, som får til opgave løbende at følge implementeringen af initiativerne. Forummet skal også drøfte prioriteter, udfordringer og behov på kvanteområdet, som skal spille ind i opfølgning af strategien. Det er nødvendigt, fordi den kvanteteknologiske udvikling går stærkt, og fordi det er usikkert, hvornår de store gennembrud kommer. Derfor vil regeringen foretage en midtvejsevaluering i 2025, som giver mulighed

for at følge op på strategien og justere den efter de behov, som måtte opstå undervejs.

Erhvervsministeriet er overordnet ansvarlig for implementeringen af del 2 af strategien i tæt samarbejde med de øvrige ministerier i det tværministerielle kvantesekretariat, som består af Erhvervsministeriet, Uddannelses- og Forskningsministeriet, Udenrigsministeriet, Forsvarsministeriet og Digitaliserings- og Ligestillingsministeriet.

Målsætning



Del 1

Danmark skal have et af verdens førende kvanteforskningsmiljøer og effektivt kunne omsætte forskning til ny, anvendelig teknologi.

Der er med finansloven for 2023 afsat 212 mio. kr. til forskning og innovation inden for kvanteområdet. Regeringens ambition er, at det høje niveau fastholde de næste fire år. Det vil i perioden 2023-2027 betyde en prioritering på 1 mia. kr. til forskning og innovation inden for kvanteområdet.

Med del 1 af National Strategi for Kvanteteknologi er der sat yderligere tempo på den danske satsning inden for kvanteforskning. Det giver Danmarks en unik position til også at udnytte de kommercielle potentialer inden for kvanteområdet.



Del 2

Danmark skal udnytte det kommercielle potentiale i kvanteteknologien til gavn for dansk erhvervsliv og Danmarks sikkerhed gennem en styrkelse af kvanteøkosystemet. De danske styrkepositioner skal være spydspidser for anvendelsen af kvanteteknologi.

Der afsættes yderligere 200 mio. kr. i perioden 2024-2027 til at styrke commercialisering, sikkerhed og internationalt samarbejde på kvanteområdet.

Med del 2 fokuseres der på, at aktørerne i økosystemet for kvanteteknologi har gode muligheder for at udvikle og commercialisere kvanteteknologier. Desuden skal indsatsen relateret til dansk sikkerhed og internationalt samarbejde styrkes. For at understøtte ambitionen skal del 2 bidrage til at fremme det erhvervsmæssige kvanteøkosystem for udvikling og commercialisering af kvanteteknologi samt øge Danmarks modstandsdygtighed mod de trusler og sikkerhedsudfordringer, der kan være forbundet med kvanteteknologier.

Oversigt over initiativer



INDSATSOMRÅDE 1:

Kommercialisering af kvanteteknologi

1

Quantum House Denmark

2

Etablering af kvantefond

3

Aktivere de danske styrkepositioner i kvanteteknologi gennem use-cases og demonstrationsprojekter

4

Mere kvantetalent i Danmark

5

Nationalt forum for kvanteteknologi – fortsættelse fra del 1



INDSATSOMRÅDE 2:

Sikkerhed som fundament i den danske kvanteteknologiske udvikling

6

Styrke Danmarks kritiske digitale infrastruktur mod truslen fra kvanteteknologier

7

Øget sikkerhed i det danske kvantemiljø

8

Effektiv regulering og beskyttelse af kvanteteknologi



INDSATSOMRÅDE 3:

Fremme af danske kvanteinteresser internationalt

9

Danmark i en ledende rolle i udvikling af kvanteteknologi i Europa

10

International kvantehub skal løfte Danmarks strategiske kvantepartnerskaber

11

Dansk aftryk i international standardisering på kvanteområdet



Indsatsområde 1:

Kommercialisering af kvanteteknologi

Danmarks stærke position inden for kvanteforskning skal komme erhvervsliv og samfund til gode. Den forskningsmæssige styrkeposition skal udvikles til også at være en erhvervmæssig styrkeposition, som understøtter Danmarks langsigtede konkurrenceevne.

Derfor vil regeringen aktivt styrke det spirende danske økosystem for anvendt kvanteteknologi, så de danske forskningsmiljøer og start-ups på kvanteområdet samt det etablerede erhvervsliv med interesse og potentiale for at kunne anvende kvanteteknologier i højere grad bindes sammen.

Kvanteteknologi er endnu i den tidlige modenhedsfase, og virksomhederne på området er hovedsageligt spin-outs fra universiteterne. For at sætte tempo på kommercialiseringen af kvanteteknologi er der brug for at forbedre adgangen til faciliteter og finansiering samt understøtte udviklingen af og adgangen til de rette kompetencer. En vigtig del af arbejdet er at udbrede kendskabet til teknologiens

anvendelsesmuligheder. Boston Consulting Group anslår, at af de 450-850 mia. dollars, som generelt anvendelige og fejltolerante kvantecomputere forventes at kunne genere i værdi, vil omkring 80 pct. opstå hos slutbrugere inden for fx life science og finansielle servicevirksomheder. Derfor er der brug for videndeling og anvisning af kvanteteknologiens muligheder for potentielle anvendere, så flere kan få gavn af kvanteteknologierne.

At opnå gevinsterne stiller krav til virksomhedernes fleksibilitet og risikovillighed, men også til at medarbejdere besidder de rette kompetencer og viden. Danmark har stærke videregående uddannelser på kvanteområdet inden for særligt fysik, kemi, nanoscience, fotonik, matematik og datalogi. Men der er behov for at fremtidssikre talentudviklingen på området samt imødekomme et stigende behov for tværfaglig viden og kompetencer for at kunne lykkes med kvanteteknologi – både hos uddannelses- og forskningsinstitutioner og i erhvervslivet.



Eksempler på rådgivere og anvendere af kvanteteknologi

- Danske Bank og Energinet – deltager i feltforsøg med kvantekommunikation.
- Novo Nordisk – undersøger kvante-simulering og -computing til "drug discovery".
- TDC NET – har anvendt kvantealgoritmer til ruteoptimering for serviceteknikere.
- KPMG har placeret sin globale kvantehub i Danmark og har fokus på anvendt kvanteteknologi via rådgivning og konsulentydelser.



1

Quantum House Danmark

Som en del af det eksisterende uddannelses-, forsknings- og innovationsmiljø omkring Nørre Campus i København vil regeringen, i samarbejde med en bred kreds af aktører, igangsætte *Quantum House Denmark*, der skal styrke miljøet inden for anvendt kvanteteknologi. Indsatsen skal samle aktørerne inden for kvanteteknologi i et fysisk miljø, hvor der er adgang til kontorlandskab, test- og måleudstyr, hjælp til forretningsudvikling og samtidig understøtte netværksskabelse til udvikling og sparring. Quantum House Denmark vil på den måde også understøtte udveksling af viden mellem eksisterende forskningsinstitutioner og aktører på området som DTU, KU, NATO's Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic (DIANA) Danish Quantum Community m.fl., og fungere som en vigtig fysisk ramme for udvikling af det danske kvanteerhvervsliv bestående af start-ups, etablerede virksomheder mv. Indsatsen vil være et aktiv for de

virksomheder og investorer, der vil engagere sig i kvantemiljøet omkring Nørre Campus. Etablering af *Quantum House Denmark* vil samtidig understøtte kendskabet til Danmarks kvanteindsats i udlandet, så der kan tiltrækkes udenlandske talenter og investeringer.

I tilknytning til *Quantum House Denmark* vil regeringen i samarbejde med Novo Nordisk Fonden etablere et nationalt testcenter, som ikke alene tilgodeser forskning og innovation på de offentlige forskningsinstitutioner, men også tager hensyn til de behov, som nystartede og mindre virksomheder har, herunder blandt andet spin-outs fra universiteterne. Testcenteret skal give adgang til avanceret udstyr, som kan bruges til at teste de mange elementer og ideer, der udspringer fra forskningsmiljøet og erhvervslivet.



2

Etablering af kvantefond

Kvanteteknologi er kompleks, langsigtet og dyr at udvikle. Det er en teknologi i løbende udvikling, hvor de største potentialer fortsat skal indfries. Udviklingen af kvanteteknologi fra forskning til kommercielle muligheder stiller derfor krav om risikovillig og tålmodig kapital, der kan understøtte overgangen fra forskning og innovation til kommercialisering og anvendelse.

Som led i strategien vil regeringen etablere en europæisk kvantefond med base i Danmark. Regeringen lægger op til at etablere fonden i Danmarks Eksport- og Investeringsfond (EIFO) under Erhvervsministeriet, fordi EIFO har erfaring med at skabe fonde sammen med private aktører.

Hensigten er, at fonden med tiden kan mobilisere privat institutionel kapital svarende til en samlet fond i milliardklassen. Den endelige fondsstørrelse vil afhænge af, i hvilken grad der kan mobiliseres finansiering fra private parter. Derved kan det spirende danske økosystem for kvanteteknologi bidrage til at skabe en innovativ styrkeposition.

Det er tiltænkt, at kvantefonden skal understøtte indsatserne i Quantum House Denmark og ses i sammenhæng med indsatser som Deep Tech Lab - Quantum under BioInnovation Institute og NATO's Innovation Fund (NIF). Til etablering af fonden vil regeringen omprioritere dele af de ubrugte midler fra Genstartsfonden til kvantefonden.



3

Aktivere de danske styrkepositioner i kvanteteknologi gennem use-cases og demonstrationsprojekter

For at kvanteteknologi kan blive en kommerciel succes i Danmark, er der behov for slutbrugere, der kan se potentialet i at anvende kvanteteknologiens mange muligheder. Det kan eksempelvis være på sundhedsområdet, hvor kvantesensorer kan bruges til billeddiagnosticering, eller inden for optimering af energiresourcer.

Afstanden mellem de virksomheder, der udbyder nye kvanteteknologiske løsninger, og virksomheder, som kan opnå gevinster ved at tage løsningerne i brug, skal gøres kortere. Det skal ske ved at fremme udviklingen af demonstrationsprojekter og "use-cases" inden for danske styrkepositioner, hvor

potentialerne i kvanteteknologi er størst. Formålet er at øge kendskabet til anvendelsesmulighederne blandt danske virksomheder og offentlige institutioner, så flere kan få gavn af kvanteteknologierne.

Der iværksættes derfor en indsats for at fremskynde integrationen af kvanteteknologiske løsninger i danske virksomheder med særligt fokus på use-cases og demonstrationsprojekter som væsentlige værktøjer til at vise, hvordan kvanteteknologi kan anvendes i praksis. Indsatsen vil bestå af en række understøttende aktiviteter, der vil blive til i tæt og forpligtende samarbejde med forskere, kvante start-ups, relevante virksomheder og bredt set aktører i kvantemiljøet såsom Danish Quantum Community (DQC).



4

Mere kvantetalent til Danmark

Danmark har stærke videregående uddannelser med relevans for kvanteområdet inden for særligt fysik, kemi, nanoscience, fotonik, matematik og datalogi, men med en skærpet international konkurrence om de bedste talenter til at forske i og udvikle kvanteteknologi er der behov for at fremtidssikre talentbasen i Danmark ved at udvikle, tiltrække og fastholde talent og kompetencer.

Derfor etableres der i 2024 en pulje, hvorfra de videregående uddannelsesinstitutioner kan få tilskud til udvikling af nye uddannelsestilbud og -forløb samt undervisningsmateriale inden for kvanteområdet. Gennem fx tværgående fagpakker eller nye efter-/videreuddannelsesforløb skal puljen også være med til at understøtte, at andre fagdiscipliner i højere grad sættes i spil i forhold til at bidrage til udviklingen af kvanteteknologi.

Der etableres desuden en international sommerskole i Danmark for talentfulde studerende inden for kvanteområdet. Det skal dygtiggøre danske studerende igennem samspillet med internationale studerende, understøtte interessen for dansk kvanteforskning samt åbne muligheder i dansk erhvervsliv for talentfulde internationale studerende. Dertil afsøges mulighederne for at øge optaget af internationale studerende på kandidatniveau, herunder inden for kvanteområdet, fx fysik, kemi, nanoscience, fotonik, matematik og datalogi.



5

Nationalt forum for kvanteteknologi - fortsættelse fra del 1

Kvanteområdet skal understøttes af et bredt samarbejde mellem centrale aktører og interessenter for at fremme en bredt forankret national tilgang gennem Nationalt Forum for Kvanteteknologi, som er et initiativ under strategiens del 1. Forummet skal blandt andet rådgive om og løbende gøre status på implementeringen af strategien samt drøfte tværgående temaer. Det kan fx være hvordan rammevilkårene for økosystemet, kommercialisering af forskning og talentindsatsen kan styrkes yderligere. Forummet kan drøfte og komme med anbefalinger til fremadrettede indsatser.





Indsatsområde 2:

Sikkerhed som et fundament for den kvanteteknologiske udvikling

Kvanteteknologi rummer mange muligheder, men er også forbundet med sikkerhedsmæssige udfordringer og trusler. Teknologiernes hurtige udvikling og kompleksitet gør det vanskeligt at vurdere, hvor og hvornår udfordringerne er størst. Det gælder eksempelvis for udviklingen af kvantecomputere og kvantesikre kommunikationsløsninger, som skal beskytte den kritiske digitale infrastruktur og drive overgangen til kvantesikker kommunikation.

Viden om potentielle trusler og evnen til at håndtere dem er nødvendig for blandt andet at kunne undgå uønsket videnoverførsel, særligt til ikke-ligesindede stater, som kan anvende denne viden som led i deres militære kapacitetsopbygning. Derudover er evnen til at modstå dekryptering af både private virksomheders og offentlige myndigheders sensitive og samfundskritiske data afgørende.

Internationalt samarbejde, investeringer og eksport er væsentligt for udviklingen af kvanteteknologier. Men åbenhed har også sine sårbarheder. Investeringer skal ske på et gensidigt oplyst grundlag, ligesom eksport af kritisk dansk kvanteteknologi ikke må havne de forkerte steder, hvor det kan udnyttes i strid med danske værdier og interesser.

Udvikling og anvendelse af samt beskyttelse imod kvanteteknologi i Danmark kræver derfor, at danske myndigheder arbejder for at styrke Danmarks kritiske digitale infrastruktur mod de potentielle trusler, som følger af kvanteteknologi. Samtidig skal indsatsen i forhold til teknologibeskyttelse styrkes, således at kvantemiljøet opbygger modstandsdygtighed mod uønsket overførsel af kritisk viden og teknologi.

Danmark skal være et sikkert, åbent og fleksibelt land at udvikle kvanteteknologi i, hvor udvikling og kommercialisering hviler på et solidt sikkerhedsmæssigt fundament i tæt samarbejde med ligesindede internationale partnere. Det bliver vigtigt at finde den rette balance mellem regulering, beskyttelse og innovation. Danmark vil gerne være med til at sætte spillereglerne, så regulering på én og samme tid understøtter innovation og kommercialisering, og samtidig beskytter borgere, virksomheder og offentlige myndigheder.



6

Styrke Danmarks kritiske digitale infrastruktur mod truslen fra kvanteteknologier

Kvanteteknologiers udbredelse kan true Danmarks it- og samfundssikkerhed. Allerede i dag kan eksempelvis sensitive og klassificerede data potentielt være i fare for at blive opsamlet og dekrypteret den dag, en tilstrækkelig stærk kvantecomputer er til rådighed. Det stiller krav til, hvordan vi skal sikre Danmarks kritiske digitale infrastruktur mod truslen fra kvanteteknologi.

Danmark skal rettidigt igangsætte arbejdet med at styrke Danmarks kritiske digitale infrastruktur mod kompromittering fra eksempelvis kvantecomputere. Der nedsættes derfor et sekretariat, som skal koordinere imødegåelsen af denne sikkerhedsudfordring med støtte fra en ekspertgruppe.

Sekretariatet skal blandt andet udarbejde vejledninger og anbefalinger til at håndtere udfordringerne samt en plan for fremtidssikring af Danmarks kritiske digitale infrastruktur mod de trusler, der kan opstå som følge af kvanteteknologier. Sekretariatet skal også kunne vejlede om kvantetruslens betydning for den kritiske digitale infrastruktur og cybersikkerhed samt indgå i samarbejder med eksempelvis virksomheder og forskningsinstitutioner, som kan understøtte imødegåelsen af kvantetruslen.



7

Øget sikkerhed i det danske kvantemiljø

For at øge sikkerheden i det danske kvantemiljø styrkes Politiets Efterretningstjenestes (PET's) rådgivningsindsats markant. Det betyder, at PET vil yde en mere proaktiv støtte til de danske kvantevirksomheder og forskningsinstitutioner med det formål at gøre dem til kompetente forvaltere af deres sikkerhed.

Styrkelsen af rådgivningsindsatsen handler om at fremme udviklingen af lokale sikkerhedsorganisationer i kvanteøkosystemet i Danmark og udvikle en målrettet og moderne form for vidensdeling mellem sikkerhedsmyndighederne og kvantemiljøet i Danmark.

Det vil blandt andet ske gennem det nyligt etablerede Kvanteteknologisk Sikkerhedsforum, støtte til opbygning af lokale sikkerhedsorganisationer, rådgivning om investeringer og internationale samarbejder samt formidling af et opdateret trusselsbillede mod dansk kvanteforskning.

Initiativerne vil bidrage til, at sikkerhed bliver en strategisk prioritet blandt danske udviklere af kvanteteknologi samt øge forståelsen for, at sikkerhedspolitik i dag er et ansvar, som i høj grad forvaltes i de beslutninger, som tages af virksomheder og forskningsinstitutioner.



8

Effektiv regulering og beskyttelse af kvanteteknologi

Et vigtigt rammevilkår for udviklingen af kvanteteknologi i Danmark er effektiv regulering og beskyttelse af de dele af kvanteteknologien, hvor misbrugspotentialet er størst, hvis teknologierne havner de forkerte steder. Her er det vigtigt, at vi fra dansk side er del af et fællesskab, som stemmer overens med vores værdier. Foruden de sikkerhedsmæssige konsekvenser vil det være skadeligt for dansk vækst og eksport, hvis dansk kvanteteknologi fx bliver forbundet med militær anvendelse i ikke-ligesindede lande.

Derfor er dele af kvanteområdet allerede reguleret fra dansk side. Der er blandt andet lagt eksportkontrol på visse kvanteteknologier, og udenlandske investeringer i danske kvantevirksomheder screenes i dag af myndighederne.

Det skal være nemt for danske virksomheder at få vejledning hos myndighederne. De skal kunne få afklaret om den teknologi, som de arbejder med, er kontrolbelagt. Ansøgning og sagsbehandling skal ske så smidigt og effektivt som muligt, så der opnås gennemsigtighed og forudsigelighed til gavn for investeringer og eksport.

Der igangsættes derfor et arbejde med at styrke analyse- og forvaltningskapaciteten i relation til risici inden for eksportkontrol og investeringscreening og en deraf følgende styrket vejledningsindsats over for virksomheder og forskningsinstitutioner.



Indsatsområde 3:

Fremme af danske kvanteinteresser internationalt

Udviklingen af kvanteteknologi er præget af stor international og geopolitisk konkurrence. Kvanteteknologi står centralt i det teknologiske kapløb, da de lande, der kommer først med at udvikle og anvende teknologien, kan få store økonomiske og sikkerhedsmæssige fordele. Kvanteteknologi er en ny og disruptiv teknologi, der rummer risici og dilemmaer, men som endnu ikke er globalt reguleret, da teknologien stadig er under udvikling. Der er derfor behov for at indtænke internationale principper, regler og standarder for ansvarlig udvikling og anvendelse af kvanteteknologi, der er i overensstemmelse med danske og europæiske værdier. Rammer, der kan fremme det danske kvanteøkosystem.

Internationalt samarbejde i EU og med partnerlande og allierede vil være afgørende for kommercialiseringen i Danmark. Internationalt samarbejde skal understøtte, at Danmark kan tiltrække talent og virksomheder. Det skal give Danmark en central plads i de globale værdikæder og i den europæiske kvanteteknologiske infrastruktur. Det danske kvanteøkosystem skal blive en central brik i Europas teknologiske suverænitæt.

Danmark skal engagere sig aktivt på den internationale scene. Det gælder særligt i EU, hvor de europæiske spilleregler fastsættes, og hvorfra globale normer og standarder prægnes. Strategiske partnerskaber med stærke og ligesindede kvantationer, hvor vi kan løfte de danske styrkepositioner, vil også være en prioritet. Det vil være igennem internationalt engagement, at Danmark kan arbejde for, at kvanteteknologiens store potentiale udnyttes til at skabe løsninger på globale udfordringer. Igennem nye landvindinger inden for forskning og innovation skal vi i fællesskab bidrage til en bedre fremtid.

Danmark indtager en unik position, når det kommer til at løfte den opgave. Stående på skuldrene af Niels Bohrs pionerforsknin og et nutidigt forskningsmiljø i international særklasse har Danmark en særlig stemme i det internationale kvantemiljø. Det skal udnyttes til at sætte dansk aftryk på de globale spilleregler og accelerere udviklingen, væksten og eksporten af dansk kvanteteknologi. Hvis det danske kvanteøkosystem fortsat skal være blandt verdens førende, kræver det samtidig en intensivt indsats for at tiltrække udenlandske virksomheder, som kan levere den viden, talent og kapital, der skal til for at udvikle fremtidens kvanteteknologier.



9

Danmark i en ledende rolle i udvikling af kvanteteknologi i Europa

Danmark kan ikke til fulde indfri potentialerne i kvanteteknologi uden et tæt og forpligtende samarbejde med vores europæiske nabolande. Øget samarbejde skal understøtte videndeling og skalering af kvanteteknologiske løsninger til et niveau, hvor vi i Europa kan konkurrere internationalt og dermed præge den globale udvikling af teknologien. Det kalder på løsninger på tværs af grænserne i Europa, og derfor kommer EU's strategiske tilgang og ambitionsniveau til at spille en afgørende rolle i årene frem.

Danmark har i kraft af sin stærke position på kvanteforskning mulighed for at indtage en ledende rolle i EU-samarbejdet. Derfor iværksættes en målrettet indsats for at styrke Danmarks engagement i EU-initiativer inden for udvikling, kommercialisering og anvendelse af kvanteteknologi. Indsatsen skal være med til at sikre danske interesser i udviklingen af et indre marked for kvanteteknologiske løsninger, hvor understøttende regulering, nedbringelse af byrder og barrierer samt adgang til finansiering, infrastruktur og kvalificeret arbejdskraft ventes at stå centralt.



10

International kvantehub skal løfte Danmarks strategiske kvantepartnerskaber

Danmark skal udvikle internationale partnerskaber, der kan løfte danske styrkepositioner og fremme strategiske indsatser med andre lande. Da kvanteteknologi også er blevet geo- og sikkerhedspolitik, vil der være behov for en styrket diplomatisk indsats for at ramme balancen mellem beskyttelse, konkurrence og internationalt samarbejde.

Regeringen vil derfor etablere en international kvantehub, som skal markere Danmark stærkt internationalt og sikre fremdrift i nye samarbejdsaftaler. Hubben skal styrke Danmarks strategiske kvantesamarbejde bilateralt, multilateralt og regionalt i EU og Norden samt med centrale forskningsinstitutioner og virksomheder på kvanteområdet. Den skal være primær indgang for internationale aktører til danske myndigheder og økosystem.

En strategisk tilgang til internationale kvantepartnerskaber vil kræve, at partnerskaber afvejes af hensyn til danske interesser, og at der i visse tilfælde udarbejdes en politisk ramme herfor. Partnerskaberne kan indeholde aktiviteter som koordinering af nationale indsatser, regulering, forskning, talentudvikling, offentlige-private

samarbejder om use-case udvikling eller fælles investeringer i infrastruktur samt demonstrations- og testfaciliteter. Den bilaterale kvanteerklæring mellem USA og Danmark fra 2022 er et eksempel herpå, ligesom samarbejde om kvanteteknologi er et vigtigt element i erklæringen om samarbejdet mellem Danmark og Storbritannien fra 2023.

Med kvantehubben kan Danmark indtage en central rolle, som efterspørges blandt internationale partnerlande til gavn for det danske økosystem og Danmarks sikkerhed. I forlængelse heraf skal Danmark udnytte sine styrkepositioner til at være toneangivende i det internationale samarbejde om kvanteteknologi i et sikkerhedspolitisk perspektiv, herunder i EU- og NATO-samarbejdet. Som en del af initiativet investeres der ligeledes i styrket international tilstedeværelse, der skal fremme det danske kvanteøkosystem ved at tiltrække udenlandske virksomheder, der kan bidrage med viden, talent og kapital. Samtidig skal den styrkede internationale tilstedeværelse være med til at understøtte kvantehubbens arbejde med at udvikle bilaterale partnerskaber med lande, hvor der er en strategisk og politisk interesse i internationalt samarbejde på kvanteområdet.



11

Dansk aftryk i international standardisering på kvanteområdet

Regeringen vil styrke det danske engagement på kvantedagsordenen i det europæiske standardiseringssystem ved blandt andet at arbejde for, at Danmark får ansvaret for et europæisk kvantekretariat, der kan give væsentlig indflydelse på arbejdet med udviklingen af standarder inden for kvanteteknologi på europæisk niveau. Der iværksættes en målrettet indsats for at bygge bro mellem

forskere, myndigheder, innovationsprojekter og standardisering for at understøtte udviklingen og udbredelsen af relevante standarder samt en styrket indsats for videndeling og netværksdannelse på kvanteområdet med fokus på standarders betydning for udviklingen af kvanteteknologi i Danmark. Arbejdet skal bidrage til en dansk strategisk prioritering af standardiseringsaktiviteter til blandt andet EU's standardiseringsarbejdsprogram 2024.

Bilag

Økonomioversigt

Regeringen foreslår at afsætte i alt 200 mio. kr. i 2024-2027 til del 2 af National Strategi for Kvanteteknologi med forslag til finanslov for 2024.

Tabel 1: Fordeling af midler på initiativer i del 2 af National Strategi for Kvanteteknologi

(Mio. kr.)	2024	2025	2026	2027
1. Kommercialisering af kvanteteknologi	28	23	23	23
Quantum House Denmark	15	16	16	16
Etablering af kvantefond	-	-	-	-*
Aktivere de danske styrkepositioner i kvanteteknologi gennem use-cases og demonstrationsprojekter	5	5	5	5
Mere kvantetalent i Danmark	8	2	2	2
Nationalt forum for kvanteteknologi - fortsættelse fra del 1	0	0	0	0
2. Sikkerhed som fundament i den danske kvanteteknologiske udvikling	8	14	15	15
Styrke Danmarks kritiske digitale infrastruktur mod truslen fra kvanteteknologier	3	8	9	9
Øget sikkerhed i det danske kvantemiljø	2	3	3	3
Effektiv regulering og beskyttelse af kvanteteknologi	3	3	3	3
3. Fremme af danske kvanteinteresser internationalt	15	14	13	13
Danmark i en ledende rolle i udvikling af kvanteteknologi i Europa	2	2	2	2
International kvantehub skal løfte Danmarks strategiske kvantepartnerskaber	10	10	10	10
Dansk aftryk i international standardisering på kvanteområdet	3	2	1	1
I alt	50	50	50	50

Anm.: På grund af afrunding summer tallene ikke nødvendigvis til totalen.

*For at etablere fonden vil regeringen omprioritere ubrugte midler fra Genstartsfonden til kvantefonden.

Erhvervsministeriet
Slotsholmsgade 10-12
1216 København K

Tlf. : +45 33 92 33 50
E-mail: em@em.dk