

Strategi for Kvanteteknologi

Del 1 – Forskning og innovation i verdensklasse

Juni 2023

Udgivet af Uddannelses- og Forskningsministeriet
Børsgade 4
DK-1215 København K
Tel. 3392 9700
ufm@ufm.dk
www.ufm.dk

Publikationen kan hentes på ufm.dk/publikationer

ISBN (elektronisk publikation): 978-87-93807-66-2

Indhold

Forord	4
Indledning	5
Del 1 af en National Strategi for Kvanteteknologi	9
Målsætning	10
Oversigt over initiativer	11
Langsigtede og strategiske investeringer i forskning og innovation	12
Et nyt strategisk program for forskning og innovation på kvanteområdet	13
Etablering af Nationalt Forum for Kvanteteknologi	16
Styrket innovation på kvanteområdet	16
Internationalt forsknings- og innovationssamarbejde til gavn for Danmark	17
Stærk dansk deltagelse i EU-samarbejdet og øget hjemtag	18
Globalt samarbejde med fokus på danske interesser og risici	19
Fokus på kvanteteknologi i europæisk rumsamarbejde	20
Bedre adgang til digital forskningsinfrastruktur	21
Adgang til kvantecomputere	22
En national kompetenceopbyggende indsats	22
Quantum Excellence Center for udvikling og test af kvantealgoritmer	23
Bilag	24

Forord

Virkeligheden fremstår forunderlig og mystisk, når man grubler over den indsigt, som den danske fysiker Niels Bohr i 1922 modtog Nobelprisen for. Niels Bohrs indsigt handler om verdens mindste dele og har givet os en helt ny forståelse af, hvordan elektroner bevæger sig rundt om atomkernen. Den viden har ført til første generation af kvanteteknologier og en række moderne innovationer, lige fra MR-scanneren til GPS-navigation.

Nu nærmer vi os den anden kvanterevolution. Vi er blevet bedre til at forstå og bruge kvantesystemer til at skabe ny teknologi. Danmark er blandt de førende lande inden for kvanteforskning, og vi nyder på den baggrund stor international anerkendelse. Den forskning, der i dag udføres på danske og udenlandske universiteter, kan i fremtiden gøre os i stand til ting, som, vi tidligere troede, var umulige.

Det gælder på sundhedsområdet, hvor meget nøjagtige kvantesensorer f.eks. kan forbedre diagnostikken markant. Samtidig kan kvantesensorer få stor betydning for f.eks. overvågning af danske farvande og opsporing af skjulte våben. Kvantecomputeren forventes i fremtiden at kunne løse komplekse problemer, som ikke kan løses af klassiske computere. Det vil kunne skabe helt nye løsninger på globale udfordringer, f.eks. i forhold til klima og bæredygtighed. Kvanteteknologien medfører dog også store risici – især for dem, der ikke følger med i udviklingen. En fuldt funktionel kvantecomputer antages i fremtiden at udgøre en trussel mod vores digitale infrastruktur.

Vi begynder altså nu for alvor at kunne se teknologiens potentiale, men også de trusler mod vores sikkerhed, som den kan medføre. Kan vi udnytte mulighederne og forsvare os mod truslerne, forventes der et stort potentiale i forhold til at løse globale udfordringer og for dansk erhvervsliv.

Det er på den baggrund, at regeringen har taget initiativ til en National Strategi for Kvanteteknologi, der skal gøre Danmark klar til at udvikle og anvende kvanteteknologi.

Denne publikation er første del af strategien. Den udstikker en ambitiøs retning for forskning og innovation i et langsigtet perspektiv. Der er med Finansloven for 2023 afsat 212 mio. kr. til forskning og innovation inden for kvanteområdet. Regeringens ambition er, at det høje niveau fastholdes de næste fire år. Det vil i perioden 2023-2027 betyde en prioritering på 1 mia. kr. Altså en markant styrkelse af forsknings- og innovationsindsatsen på kvanteområdet i Danmark. Målet er, at Danmark skal have et af verdens førende kvanteforskningsmiljøer og effektivt kunne omsætte forskning til ny anvendelig teknologi.

Potentialet for kvanteteknologi er stort, men tidshorisonten er usikker. Henad vejen kan der opstå behov eller udfordringer, som ikke kan forudsiges i dag. Strategien vil derfor udgøre en dynamiske ramme, som løbende kan understøtte de forskellige udviklingsstrin frem mod anvendelse.

God læselyst!

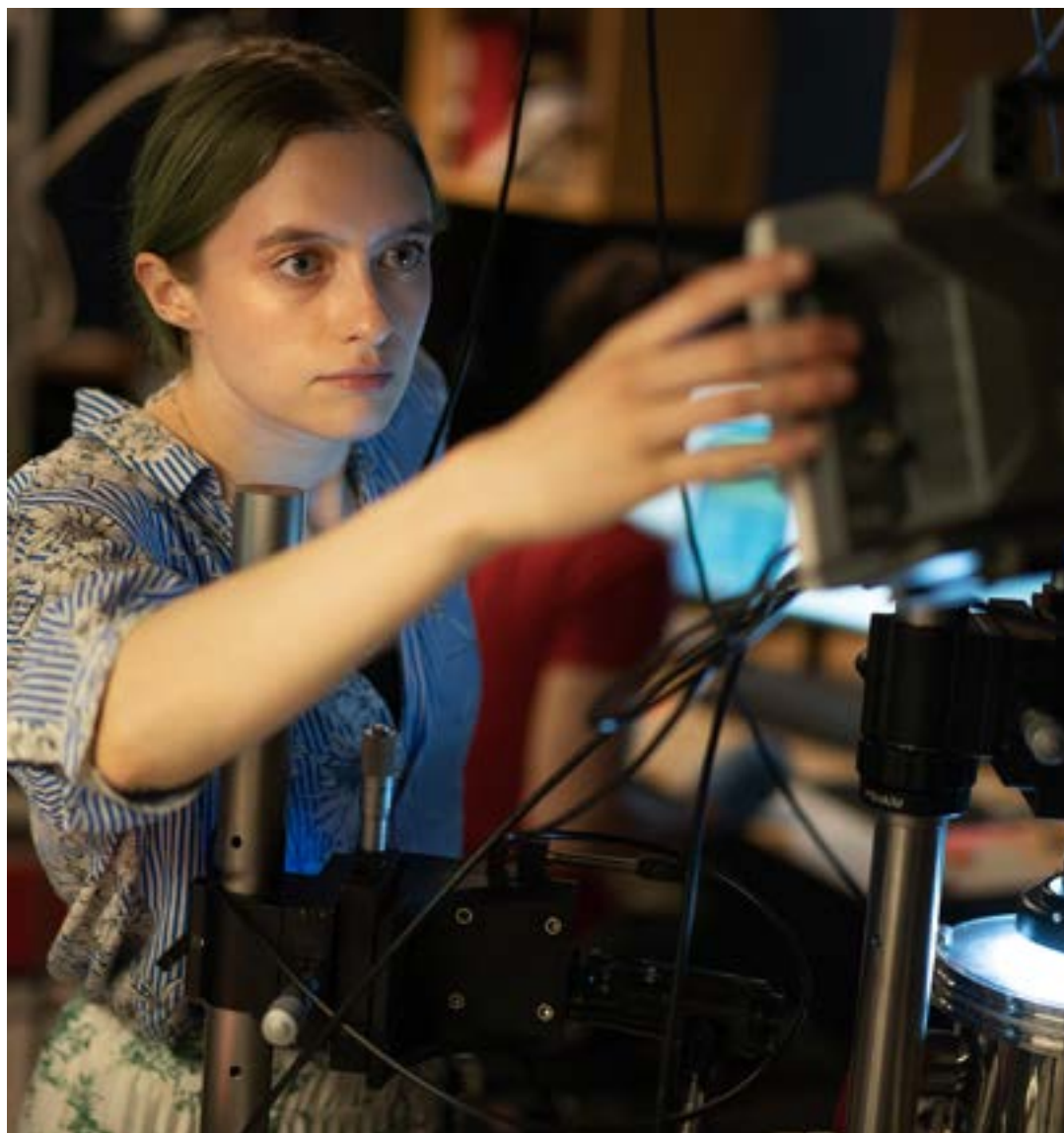
Christina Egelund
Uddannelses- og forskningsminister

Indledning

Siden Niels Bohrs pionerforskning, der dannede grundlaget for vores forståelse af kvantemekanikken, er der udviklet meget stærke kvanteforskningsmiljøer i Danmark.

Uddannelses- og Forskningsstyrelsen offentliggjorde i 2022 en kortlægning af forskning på kvanteområdet, som viser, at dansk kvanteforskning på en række områder vurderes at være i verdensklasse og nyder stor international anerkendelse. Over de seneste ti år har aktiviteten på de danske forskningsinstitutioner inden for kvanteområdet taget til. Der er etableret flere forskningsgrupper, og det er lykkedes at rekruttere flere internationale topforskere.

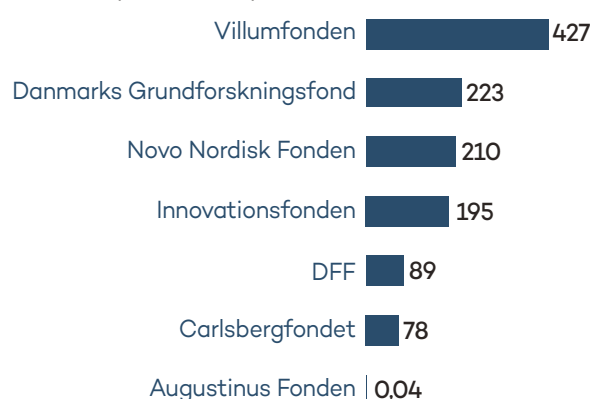
Hovedparten af den danske kvanteforskning foregår i dag på Københavns Universitet (KU), Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og Aarhus Universitet (AU), men der er også spirende aktiviteter på Syddansk Universitet (SDU) og Aalborg Universitet (AAU).



Den danske styrkeposition inden for kvanteforskning er båret frem af betragtelige investeringer i grundforskning og forskningsinfrastruktur. Offentlige og private forskningsfinansierende fonde har i årene 2014-2020 uddelt ca. 1,2 mia. kr. til kvanteforskning i Danmark. Det er især Danmarks Grundforskningsfond, Innovationsfonden, VILLUM FONDEN, Carlsbergfondet og i stigende grad Novo Nordisk Fonden, der har været aktive på området. Novo Nordisk Fonden har i 2022 offentliggjort en bevilling på 1,5 mia. kr. over 12 år til et kvanteprogram på Niels Bohr Institutet med henblik på at bygge en fuldt funktionel kvantecomputer inden for de næste 10-20 år. EU's ramme-program for forskning og innovation er en anden central finansieringskilde, der har bidraget med ca. 0,5 mia. kr. i perioden 2014-2020.

Bevillinger til forskning på kvanteområdet

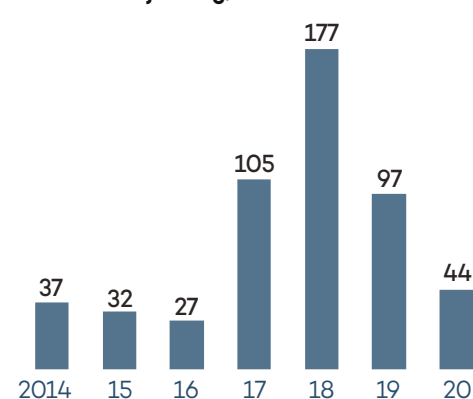
Fra fonde, 2014-2021, mio. kr.



Økonomistyrelsens generelle pris- og lønindeks er anvendt til omregning fra løbende til faste 2021-priser.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsstyrelsen på baggrund af indmeldinger fra offentlige og private fonde.

Dansk EU-hjemtag, mio. kr.



Beløb er omregnet fra Euro til danske kr. efter dagskursen på 7,44 kr. pr. Euro (april 2022).

Kilde: Uddannelses- og Forskningsstyrelsen på baggrund af udtræk fra eCORDA-databasen 7. april 2022

Selvom vi klarer os godt i Danmark, er der en række væsentlige udfordringer, når det kommer til at fastholde og udvikle vores styrkeposition og omsætte forskning til konkrete løsninger. Udfordringerne er blevet mere aktuelle på grund af den geo- og sikkerhedspolitiske situation, hvor global konkurrence om teknologiudviklingen spiller en stadig større rolle.

Der sker i disse år bemærkelsesværdige fremskridt i den internationale kvanteforskning, og på globalt plan investeres der massivt i området for at frigøre teknologiens potentiale. Kvanteforskningen er en væsentlig del af det teknologiske kapløb mellem stormagter og deres allierede med stor betydning for vores samfunds sikkerhed og velstand. Kvanteteknologien medfører store risici – især for dem, der ikke følger med – og derfor er det nødvendigt med store og målrettede investeringer på området.

Det internationale momentum på kvanteområdet skaber både muligheder og udfordringer for Danmark. Vi er som en lille, åben økonomi afhængig af omverdenen ift. viden og forskning, og ift. tiltrækning af talent, investeringer og nye virksomheder. Det er derfor nødvendigt, at danske forskningsmiljøer orienterer sig internationalt for at finde de bedste samarbejdspartnere i og uden for EU. Samtidig er vi i konkurrence med vores internationale partnere om at tiltrække talent og investeringer, og vi skal sikre os, at vores viden og teknologi ikke havner i hænderne på ikke-ligesindede lande, der kan udgøre en trussel mod vores sikkerhed og konkurrenceevne.

Hvad er kvanteteknologi?

Kvanteteknologi er en samlet betegnelse for forskellige teknologiske løsninger, der kan anvendes bredt i samfundet. Overordnet kan de såkaldte 2. generations-quanteteknologier 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 kvantecomputer, men adskiller sig ved at være et avanceret modelleringssystem, som kan anvendes til at simulere fænomener i den fysiske verden såsom fotosyntese eller biokemiske processer. Kvantesimulatorer bliver specielt udviklet til at simulere en bestemt situation med et eller flere fænomener fra den fysiske verden.



Kvantekommunikation

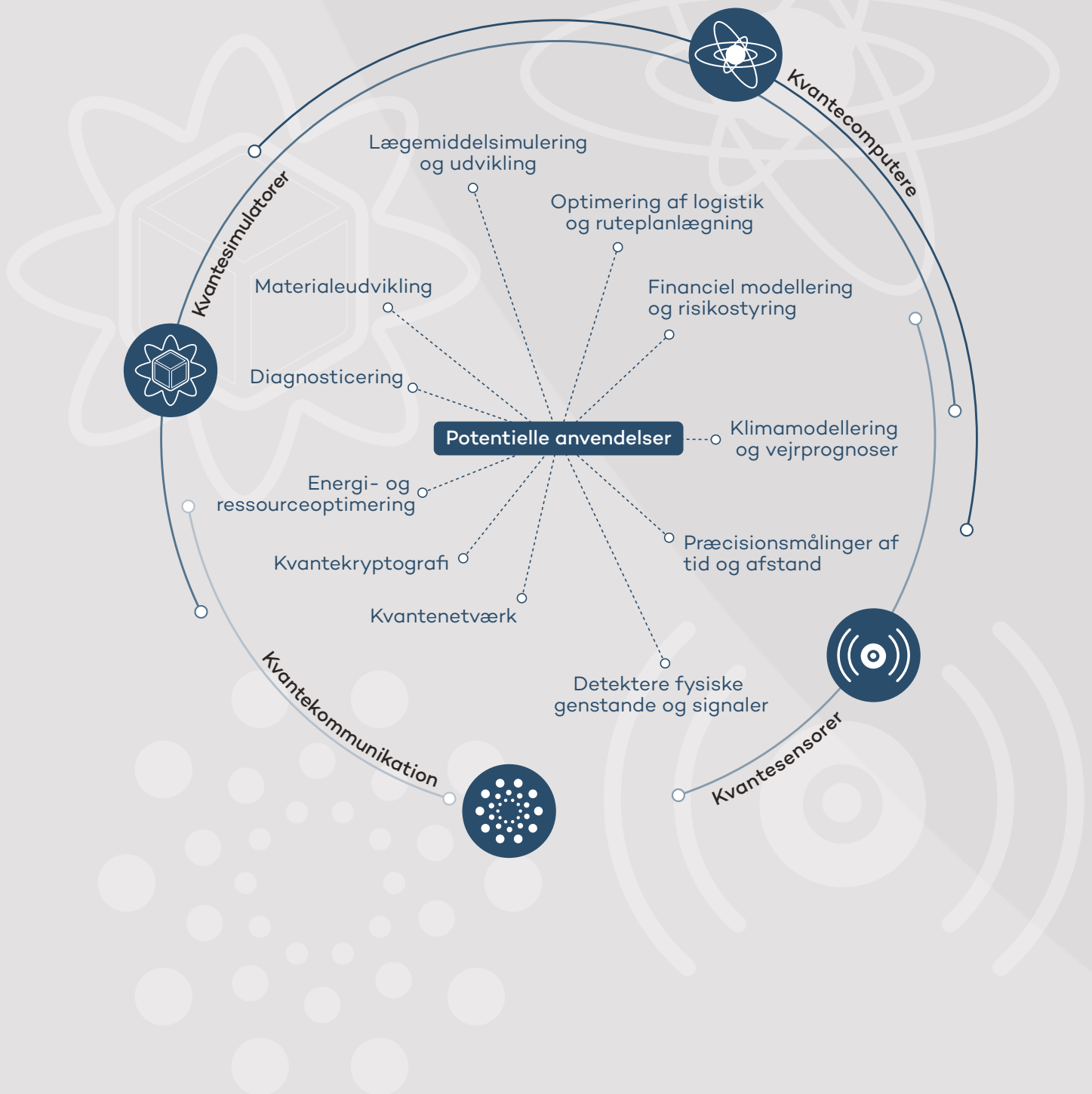
Der er to overordnede formål med kvantekommunikation. Det ene er beskyttelse af den kommunikation, der sker via almindelige computere mod potentielle kvantecomputerangreb. Det andet er anvendelse af kvante til at skabe sikre krypteringsnøgler. Inden for kvantekryptering taler man om "post quantum crypto" (PQC) og "quantum key distribution" (QKD). PQC 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. QKD udnytter kvantefysikken til at skabe og distribuere krypteringsnøgler, der ikke kan aflyttes, og dermed sikre den transmitterede data fra potentielle kvantecomputerangreb.



Kvantesensorer/metrologi

Kvantesensorer, der udnytter kvantemekaniske principper, kan måle meget små variationer f.eks. i tyngdefeltet og kan levere målinger med langt mindre usikkerhed end konventionelle sensorer. Kvantemetrologi benytter kvantesensorer til at definere standarder for blandt andet tidtagning og elektriske målinger.

Kvanteteknologiens fire hovedområder samt udvalgte eksempler på anvendelse



Del 1 af en National Strategi for Kvanteteknologi

Denne publikation er [1. del](#) af en National Strategi for Kvanteteknologi. Den handler om forskning og innovation, det vil sige grundlaget for, at det danske samfund og de danske virksomheder på sigt vil kunne udnytte kvanteteknologiens potentialer fuldt ud. Forskning og innovation af allerhøjeste kvalitet skal styrke Danmarks internationale position i den globale konkurrence om udvikling af kvanteteknologi.

Det er dog væsentligt, at hele økosystemet fungerer og hænger sammen, herunder de aktører, der anvender og udvikler kvanteteknologi, rådgiver om kvanteteknologi, tiltrækker nationale og internationale investeringer og kompetencer, regulerer rammevilkårene og understøtter Danmarks og allieredes sikkerhed og suverænitet.

Regeringen vil derfor til efteråret 2023 fremlægge [2. del](#) af National Strategi for Kvanteteknologi. Den skal styrke det spirende danske kvanteteknologiske økosystem og dermed understøtte udvikling, kommercialisering og anvendelse af kvanteteknologi i Danmark.

Sammenhæng mellem del 1 og del 2



Samtidig vil regeringen arbejde for, at Danmark også i fremtiden har de kompetencer, forskere og medarbejdere, som er en forudsætning for at realisere ambitionerne. Indsatsen skal udvikles i samarbejde med uddannelsesinstitutionerne og vil mere konkret blive adresseret med initiativer i strategiens del 2.

Del 2 af strategien vil blive udviklet i et fortsat stærkt tværministerielt samarbejde og med en løbende inddragelse af viden og indspil udefra. Til at understøtte strategiudviklingen er der blevet nedsat et tværministerielt kvanteseekretariat bestående af Erhvervsministeriet, Udenrigsministeriet, Forsvarsministeriet, Digitaliserings- og Ligestillingsministeriet og Uddannelses- og Forskningsministeriet.

Målsætning

Forskning og innovation spiller en afgørende rolle for udvikling og anvendelse af kvanteteknologi. Stærke forskningsmiljøer og strategisk prioritering af området er nødvendigt for, at vi kan realisere kvanteteknologiens potentialer og samtidig håndtere de risici, som teknologien rummer.

Der er med Finansloven for 2023 afsat 212 mio. kr. til forskning og innovation inden for kvanteområdet. Regeringens ambition er, at det høje niveau fastholdes de næste fire år.


Det vil i perioden 2023-2027 betyde en prioritering på

1 mia. kr.

Der vil være tale om en langsigtet og ambitiøs indsats, som skal bidrage til, at Danmark også i fremtiden har et af verdens førende kvanteforskningsmiljøer og effektivt kan omsætte forskningen til ny, anvendelig viden.

Regeringen ønsker at sende et klart signal til forskere, virksomheder og fonde i ind- og udland om, at Danmarks ambitioner er i top, og at offentlige og private aktører med fordel kan igangsætte aktiviteter, der bidrager til implementering af den danske kvantestrategi og dermed understøtter en sammenhængende indsats på tværs.

Målsætning for Strategi for Kvanteteknologi - del 1

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

Strategien er baseret på den viden og de behov, som vi kan se i dag. Den hastige udvikling af kvanteteknologi betyder, at der løbende vil opstå behov for nye tiltag og justeringer. Strategien skal derfor fungere som en dynamisk ramme, der kan rumme og understøtte de balanceskift, der vil opstå løbende.

Oversigt over initiativer



INDSATSOMRÅDE 1

Langsigtede og strategiske investeringer i forskning og innovation



INDSATSOMRÅDE 2

Internationalt forsknings- og innovationssamarbejde til gavn for Danmark



INDSATSOMRÅDE 3

Bedre adgang til digital forskningsinfrastruktur





INDSATSOMRÅDE 1:

Langsigtede og strategiske investeringer i forskning og innovation

Danmark skal fortsat prioritere grundforskning og forskningsinfrastruktur økonomisk, hvis vi skal opretholde og udvikle en dansk forskningsmæssig styrkeposition. Samtidigt skal vi bruge flere penge på anvendelsesorienteret forskning og innovationsindsatsen, så vi effektivt kan tage skridtet fra forskning til anvendelse.

Kvanteforskningen befinder sig på forskellige udviklingstrin, som bevæger sig fra den tidlige, grundlagskabende forskning over forskningsprojekter med et tydeligt anvendelsespotentiale til projekter om nye kvantebaserede løsninger og produkter.

Derfor er der behov for at investere bredt og understøtte hele værdikæden fra grundforskning og anvendelsesorienteret forskning til innovation og så løbende tilpasse indsatsen til et balanceskift, hvor innovationen, produktmodning og forretningsudvikling understøttes mere.



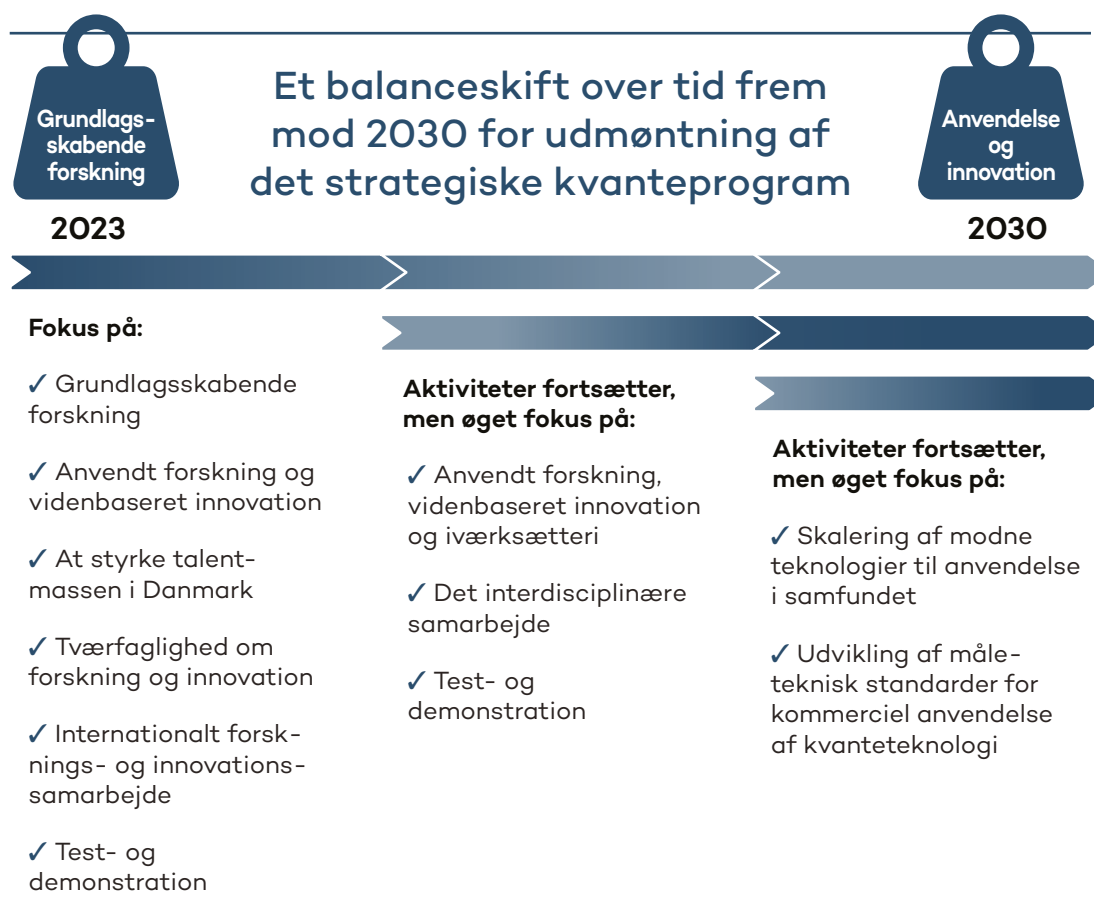
1

Et nyt strategisk program for forskning og innovation på kvanteområdet

Regeringen vil etablere et nyt strategisk program for forskning og innovation på kvanteområdet, som skal sætte retning for forskningsinvesteringerne i et langsigtet perspektiv frem mod 2030. Regeringen har givet Danmarks Innovationsfond opgaven med at opstarte programmet, og der er afsat 150 mio. kr. til udmøntning gennem programmet allerede i 2023¹.

Programmets formål er at bidrage til videnskabelige gennembrud for udvikling af kvanteteknologi i Danmark. Der er behov for både at satse på den tidlige, grundlagskabende forskning for udvikling af kvanteteknologi og støtte samspillet mellem forskning og innovation med vægt på, at projekterne på sigt bidrager til at løse relevante udfordringer i samfundet. Samtidig skal programmet have fokus på talentudvikling, tværfaglighed og internationalt samarbejde.

Programmets fokus skal ændre sig over tid, idet hovedfokus vil bevæge sig fra den tidlige, grundlagsskabende forskning til et fokus mod anvendelse og innovation i takt med den teknologiske udvikling og modning af kvanteteknologierne. Programmet skal ikke erstatte eksisterende indsats, men supplere de muligheder, som danske forskere og virksomheder allerede har, bl.a. gennem de offentlige og private forskningsfinansierende fonde.



¹ I aftalen om fordeling af forskningsreserven for 2023 har regeringen og aftaleparterne afsat 150 mio. kr. til at igangsætte det strategiske kvanteprogram. Midlerne skal i 2023 udmøntes af Danmarks Innovationsfond.

De centrale elementer, der indgår i programmet for forskning og innovation på kvanteområdet:

● Grundlagsskabende forskning

Programmet skal bidrage til kapacitetsopbygning og dermed forbedre de danske forskningsinstitutioners evne til at udføre højkvalitetsforskning og øge den videnskabelige produktivitet på kvanteområdet. Mange af de store kvanteteknologiske gennembrud, der forventes på sigt, vil afhænge af fundamentale og eksperimentelle grundvidenskabelige fremskridt flere år ud i fremtiden.

● Anvendt forskning og videnbaseret innovation

Samarbejdet mellem forskningsinstitutionerne og det omgivende samfund spiller en afgørende rolle for, hvordan vi kan innovere og anvende teknologi på kvanteområdet. I Danmark har vi gode forudsætninger for innovation med et stærkt forskningsmiljø, men der er stadig få danske kvante-startups og få danske virksomheder, der har blik for kvanteteknologiens potentialer. Derfor skal programmet bidrage til, at vi kan anvende forskningen og lave videnbaseret innovation, herunder med fokus på de mere risikofyldte videns- og udviklingstunge forsknings- og innovationsprojekter. Det skal være projekter med ambitiøse mål for anvendelse i samfundet, men i de første år uden krav om virksomhedsinvolvering eller målbar økonomisk og/eller samfundsmæssig effekt for danske virksomheder.

● En styrket talentbase i Danmark

Der er behov for at fremtidssikre talentudviklingen i Danmark. For at styrke talentbasen og den næste generation af kvanteforskere skal der gennem programmet opslås virkemidler med fokus på yngre forskere på adjunkt-niveau (herunder også post.docs) og ph.d.-stillinger, således at der ikke kun bevilges penge til projekter med etablerede forskere.

● Tværfaglighed

Kvanteforskning er i sig selv særligt forankret inden for fysik, men udviklingen af kvanteteknologi vil i stigende grad forudsætte inddragelse af viden fra andre fagområder som f.eks. kemi, datalogi, matematik, biologi, samfundsvidenskab m.v. Et stærkere tværfagligt samarbejde om forskning og udvikling af kvanteteknologi giver mere nuanceret og anvendelig viden om kvanteteknologiens muligheder. Det strategiske kvanteprogram skal derfor støtte projekter, der kan understøtte samarbejder på tværs af videnskabelige fagområder. Det kan f.eks. være støtte til tværfaglige projekter, netværks-etablering, seminarer og eksplorative forskningsprojekter. Dette kan bl.a. ske gennem samarbejde med udvalgte universitetsmiljøer, viden- og erhvervs-klynger, Godkendte Teknologiske Serviceinstitutioner (GTS) og Erhvervs- og Udviklingscenterne.

● **Internationalt samarbejde om forskning og innovation**

Det strategiske kvanteprogram skal støtte dansk deltagelse i EU-samarbejde og i det globale forsknings- og innovationssamarbejde med lige-sindede lande langs hele fødekæden. Det kan f.eks. være EU-partnerskaber, der kræver medfinansiering eller bilaterale/multilaterale opslag, f.eks. i regi af EUREKA. I de internationale aktiviteter bør der i de første år tilstræbes en passende balance mellem grundforskningsprojekter og projekter inden for anvendt forskning og videnbaseret innovation og uden krav om målbar økonomisk/samfundsmæssig effekt. Det internationale fokus i programmet er udfoldet yderligere under indsatsområde 2.

● **Test- og demonstration**

Programmet skal støtte udbygning af test- og demonstrationsfaciliteter i Danmark, hvor forskere og virksomheder kan udføre eksperimenter, teste og validere kvanteteknologier. Samtidig skal programmet kunne støtte demonstrationsprojekter med henblik på en tidlig integrering af kvanteteknologi i danske virksomheder inden for strategisk udvalgte sektorer med stor samfundsrelevans. Det kan f.eks. være projekter, der bidrager til styrket cybersikkerhed og nye løsninger inden for sundhed og den grønne omstilling. Demonstrationsprojekterne skal samtidigt bidrage til at vise kvanteteknologiens anvendelsespotentialer i samfundet og potentielle gevinster ved at anvende kvanteteknologi for virksomheder. Der er i dag behov for en langt større viden om kvanteteknologiens potentialer uden for de specialiserede miljøer, der beskæftiger sig med kvanteteknologi.

● **Iværksætter og kommercialisering**

Programmet skal understøtte, at forskning på kvanteområdet omsættes til nye forskningsbaserede startups, f.eks. for ansatte på offentlige forsknings- og uddannelsesinstitutioner, der har opnået kommercialiserbare forskningsresultater og har et mål om at etablere virksomhed baseret på resultaterne.

● **Udvikling af standarder på kvanteområdet**

Standarder spiller en vigtig rolle for at sikre pålidelighed og sikkerhed i anvendelsen af kvanteteknologi og i udveksling af information baseret på kvanteteknologiske løsninger. Selvom kvanteteknologi er i et tidligt udviklingsstadium, er der allerede nogle standarder inden for kvanteteknologi, bl.a. i forhold til at identificere og vælge kryptografiske algoritmer, der er resistente over for angreb fra kvantecomputere – herunder "Post-Quantum Cryptography Standardization Process", som blev iværksat af National Institute of Standards and Technology (NIST) i 2016. Flere standarder forventes at blive udviklet, efterhånden som teknologien modnes.

Programmet skal derfor støtte opslag og virkemidler der fremmer udvikling af standarder på kvanteområdet. I de konkrete forskningsprojekter, der udspringer af programmet, kan det f.eks. være relevant at indtænke en proces, hvor interessenter, eksperter og relevante organisationer samarbejder om at formulere fælles retningslinjer, specifikationer og praksis, der skal følges for at sikre en bred accept af kvanteteknologien i samfundet. Dette kan med fordel gøres i samarbejde med GTS-institutter og Dansk Standard, der varetager national såvel som international standardisering i Danmark. Det er forventningen, at regeringen vil supplere indsatsen for standardisering på kvanteområdet yderligere i strategiens anden del.

2 Etablering af Nationalt Forum for Kvanteteknologi

Regeringen ønsker, at især de langsigtede og strategiske investeringer i forskning og innovation på kvanteområdet understøttes af et bredt samarbejde mellem centrale aktører og interessenter for at fremme en bred national tilgang.

Derfor vil regeringen nedsætte Nationalt Forum for Kvanteteknologi, som samler de centrale aktører fra forskningsinstitutionerne, de offentlige og private fonde, startups og virksomheder m.fl. Forummet skal give mulighed for, at de centrale aktører kan drøfte prioriteter, udfordringer og behov inden for forskning og innovation i relation til strategiens del 1 samt koordinere indsætserne. Som opfølgning på del 2 af National Strategi for Kvanteteknologi om kommercialisering og anvendelse af kvanteteknologi skal forummet ligeledes drøfte rammevilkår, prioriteter og behov inden for det danske økosystem for kvanteområdet.

Forummet skal rådgive og løbende gøre status på implementeringen af strategien og drøfte tværgående temaer, f.eks. hvordan rammevilkårene for økosystemet, kommercialisering af forskning og talentindsatsen kan styrkes yderligere. Forummet kan drøfte og komme med anbefalinger til indsætser fremadrettet.

3 Styrket innovation på kvanteområdet

Det er en grundlæggende udfordring, at danske virksomheder generelt ikke er bekendte med kvanteteknologiens potentialer og mulige værdiskabelse. Det er dels en udfordring, som adresseres i udmøntning af det strategiske kvanteprogram med fokus på anvendt forskning, videnbaseret innovation og støtte til test- og demonstrationsprojekter. Dels skal det også adresseres i strategiens del 2, bl.a. gennem udvikling af use-cases, der viser konkrete muligheder for anvendelse af kvanteteknologi.

Regeringen vil samtidig arbejde for at forbedre formidlingen af potentialet gennem forsknings- og innovationsprojekter, der involverer danske virksomheder. Uddannelses- og Forskningsstyrelsen har allerede bevilget et pilotprojekt til Godkendte Teknologisk Serviceinstitutter (GTS), så de kan påbegynde arbejdet og opbygge viden hos GTS om kvanteteknologi. Inden for en kortere årrække vil det være relevant for GTS-institutter at styrke deres fokus på at udvikle serviceydelser og testfaciliteter, der kan bidrage til innovationsprocesser omkring kvanteteknologi i danske virksomheder.

For de nuværende nationale viden- og erhvervs-klynger er det en kerneopgave at bidrage til innovation i samspil mellem forsknings- og videnmiljøer, virksomheder og øvrige relevante aktører. Det er regeringens intention, at klyngeorganisationerne på sigt skal understøtte og bidrage til anvendelse og udbredelse af teknologien, f.eks. via målrettede videndelings-, matchmaking- og samarbejdsaktiviteter.

Regeringen ønsker at styrke de små og mellemstore virksomheders viden om potentialerne for anvendelse af kvanteforskning. Det bliver derfor et opmærksomhedspunkt i planlægningen af kommende programmer for henholdsvis GTS-institutter og viden- og erhvervs-klyngerne, og der vil så vidt muligt inden for de nuværende økonomiske rammer også laves aktiviteter målrettet kvanteområdet.

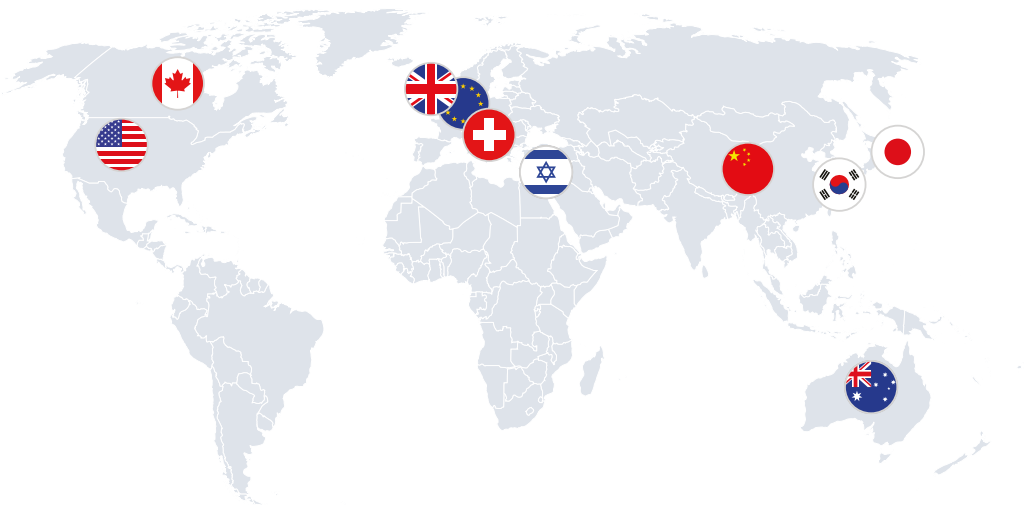


INDSATSOMRÅDE 2:

Internationalt forsknings- og innovationssamarbejde til gavn for Danmark

Kvanteforskningen er genstand for konstant stigende global konkurrence. Det gælder ikke mindst mellem de største aktører - USA og Kina - der over en årrække har satset på kvanteteknologi som et sikkerheds- og forsvarspolitisk område med stort kommercielt potentiale.

I Norden har Sverige og Finland haft store indsatser inden for kvanteområdet, mens det i det øvrige EU især er Nederlandene, Tyskland og Frankrig, der markerer sig. Uden for EU er det udover USA og Kina især Storbritannien, Schweiz, Canada, Israel, Sydkorea, Japan og Australien, der markerer sig med stærke forskningsmiljøer og store investeringer.



Vi er som en lille, åben økonomi afhængige af omverdenen for at opnå ny viden og forskningsmæssige gennembrud og for at tiltrække talent samt investeringer og nye virksomheder. Det er derfor nødvendigt, at danske forskningsmiljøer er internationalt orienterede og samarbejder med de stærkeste internationale partnere både i og uden for EU.

Samtidig viser danske og udenlandske efterretninger, at internationalt forsknings-samarbejde indebærer risiko for, at viden og teknologi kan havne i hænderne på ikke-ligesindede tredjelande, ligesom nationale strategier med uklar grænseflade mellem militær og civil forskning øger risikoen for teknologianvendelse til skade for Danmarks sikkerhed.

Udvalg om retningslinjer for internationalt forsknings- og innovationssamarbejde (URIS) har i sin rapport fra 2022 slået fast, at der skal ske et paradigmeskifte i den danske tilgang til internationalt forsknings- og innovationssamarbejde. Det gælder ikke mindst inden for kvanteområdet. Europa-Kommissionen har også indført en begrænsning i deltagelse fra tredjelande i forskningsprojekter på bl.a. kvanteområdet og har generelt skærpet fokus på europæisk strategisk autonomi, når vi samarbejder med tredjelande. I det internationale kvantesamarbejde vil Danmark skulle navigere under disse dilemmafyldte omstændigheder.



Stærk dansk deltagelse i EU-samarbejdet og øget hjemtag

EU's rammeprogrammer for forskning og innovation har spillet en stor rolle for dansk kvanteforskning, som i perioden 2014-2020 har hjemtaget bevillinger for godt 0,5 mia. kr. til kvanteforskning. Regeringen vil arbejde for, at danske kvanteforskere er toneangivende deltagere i kvanteprojekter under Horizon Europe (2021-2027).

Det strategiske kvanteprogram jf. initiativ 1 skal derfor støtte dansk deltagelse i de EU-partnerskaber under Horizon Europe, som kræver national medfinansiering. Regeringen og aftaleparterne bag forskningsreserveaftalen for 2023 har i 2023 afsat 12 mio. kr. til medfinansiering af første fase af projektet EuroQCI, som har til hensigt at etablere et eksperimentelt netværk for kvantekommunikation i samarbejde mellem danske universiteter og statslige myndigheder. Projektet vil bidrage til udviklingen af kvantekommunikation og give offentlige myndigheder og universiteter konkrete erfaringer med at anvende kvanteteknologi. Den næste fase vil bygge på disse erfaringer og iværksætte den første udrulning af et ultrasikkert kommunikationsnetværk i Danmark og EU.

Samtidig skal de danske statslige myndigheder styrke interessevaretagelsen inden for kvanteområdet yderligere, bl.a. for at fremme relevante opslag i arbejdsprogrammer under Horizon Europe og øge rådgivningsindsatsen for at bidrage til netværks- og konsortiedannelse samt ansøgningsprocesser inden for kvanteområdet.

EU-initiativer på kvanteområdet

EU igangsatte i 2018 Quantum Flagship med ambitionen om, at Europa skulle opnå en global førerposition og digital uafhængighed. Inden for rammeprogrammet Horizon Europe blev der alene i 2021-2022 afsat 2 mia. kr. til øremærkede projekter på kvanteområdet. Hertil kommer yderligere ca. 1 mia. kr. til kvanteforskning fra andre delprogrammer i Horizon Europe, ligesom EU har igangsat infrastrukturinitiativer, bl.a. Euro-HPC, der understøtter udvikling og anvendelse af kvantecomputere, EuroQCI, der understøtter sikker datakommunikation baseret på kvanteteknologi, samt programmet IRIS2, der fra 2023-2027 skal etablere et sikkert satellitkommunikationssystem i EU i samarbejde med Den Europæiske Rumorganisation (ESA).

Danmark har flere oplagte samarbejdspartnere inden for EU. Her vil det være naturligt at bygge videre på det gode samarbejde, som allerede eksisterer med de nordiske lande, hvoraf flere også satser på kvanteforskning og med EU-lande med stærke forskningsmiljøer inden for kvanteteknologi.

5

Globalt samarbejde med fokus på danske interesser og risici

Nogle af verdens førende kvanteforskningsmiljøer ligger uden for EU. Det er derfor vigtigt, at Danmark indgår i stærke internationale samarbejder.

På grund af den tætte kobling mellem teknologiudviklingen og geo- og sikkerheds-politiske hensyn skal globalt kvantesamarbejde ske i overensstemmelse med retningslinjerne fra URIS (Udvalg om retningslinjer for internationalt forsknings- og innovations-samarbejde), og med udgangspunkt i reciprocitet, seriøse risikovurderinger og grundige partnertjek.

Der er således lande med gode kvanteforskningsmiljøer, hvor samarbejde vil være præget af konkurrence og kompleksitet og ikke nødvendigvis kan baseres på fælles interesser. Samtidig er der en lang række af stærke kvanteforskningsmiljøer i lande uden for EU, som deler interesser og værdier med Danmark. Det er regeringens vurdering, at dansk forskningssamarbejde om kvanteteknologi med lande uden for EU bør rettes mod ligesindede og NATO-allierede med stærke kvanteforskningsmiljøer.

Med URIS-retningslinjerne som bagtæppe skal kvanteforskningsprogrammet støtte internationalt forsknings- og innovationssamarbejde langs hele fødekæden. Danske miljøer skal opbygge og deltage i stærke internationale netværk, og danske forskere og virksomheder skal kunne indgå i projektsamarbejde med aktører i en mere snævrer kreds af stærke kvanteforskningsnationer. Dette kan gøres med ligesindede lande globalt via bilaterale og multilaterale opslag i regi af f.eks. EUREKA².

Samtidigt ønsker regeringen at styrke vejlednings- og informationsindsatsen om internationale muligheder og samarbejde på kvanteområdet. Det skal bl.a. ske via Innovation Centre Denmark (ICDK) – de danske innovationscentre – hvoraf de fleste er placeret i lokationer, hvor der sættes på kvanteteknologi, f.eks. i Silicon Valley og Bosten, München, Tel Aviv og Seoul. Innovationscentrene skal i dialog med centrale aktører i Danmark arbejde målrettet for at etablere kontakt, partnerskaber og samarbejdsaftaler med de bedste og mest relevante aktører inden for området.

Det kan ligeledes suppleres med en styrket indsats for at tiltrække viden, talent og kapital gennem udenlandske investeringer i Danmark. Invest in Denmark arbejder med at tiltrække innovative kvantevirksomheder, der kan styrke økosystemet eller etablere konkrete forskningssamarbejder med danske universiteter.

² EUREKA er en netværksorganisation for lande i og uden for Europa, hvor nationale forsknings- og innovationsprogrammer kan koordineres i fælles projekter

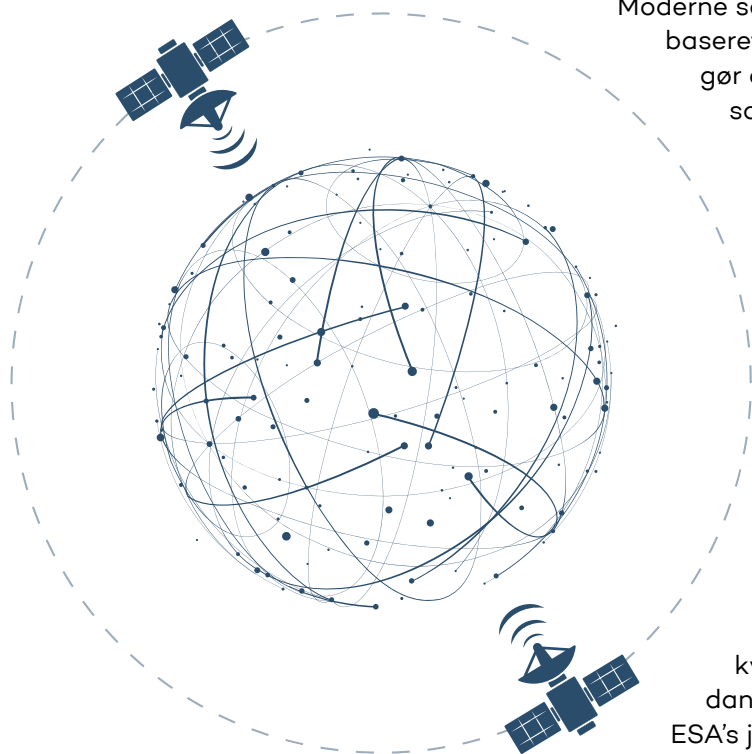


Fokus på kvanteteknologi i europæisk rumarbejde

Kvanteteknologi bliver i disse år introduceret i flere af EU's programmer på rumområdet og Den Europæiske Rumorganisation ESA's rumprogrammer med fokus på bl.a. at give bedre viden om klimaforandringerne, adgang til sikker kommunikation og bedre overvågning af trafikken i rummet. Kvanteteknologien har ligeledes potentialet til at understøtte den grønne omstilling på både energi- og transportområdet gennem en bedre og hurtigere behandling af data fra satellitter.

EU har indledt et initiativ med det formål at undersøge mulighederne for at udstyre fremtidige jordobservationssatellitter med kvanteteknologi. I et initiativ mellem EU og ESA ses bl.a. nye typer af sensorer baseret på kvanteteknologi som en lovende metode til at optimere tyngdemålinger, der bl.a. bruges til direkte måling af globale havstandsstigninger, afsmeltning af jordens iskapper og det hydrologiske kredsløb med tørke og oversvømmelser.

På sigt er det forventningen, at rumbaseret kvanteteknologi vil kunne understøtte de europæiske rumprogrammer og bidrage til forbedrede modeller for klimaets udvikling og de heraf afledte effekter.



Moderne samfund fungerer i dag ikke uden satellitbaseret infrastruktur og kommunikation, hvilket gør os sårbare. Det gælder ikke mindst de satellitbaserede tjenester, der i dag bidrager til at løse samfundskritiske opgaver som navigation, timing, jordobservation og kommunikation.

Kvanteteknologi kan medvirke til at højne sikkerheden og modstandsdygtigheden i satellitbaserede tjenester, og ikke mindst i varsling om risikoen for sammenstød mellem satellitter. Med udsigt til et hastigt voksende antal satellitter i rummet er behovet for automatisering presserende.

Regeringen ønsker derfor at prioritere kvanteområdet, herunder i forbindelse med dansk deltagelse i programområder i f.eks. ESA's jordobservations- og kommunikationsprogrammer og samtidig understøtte dansk deltagelse i EU's programmer på rumområdet, f.eks. EuroQCI.



INDSATSOMRÅDE 3:

Bedre adgang til digital forskningsinfrastruktur

Adgang til forskningsinfrastruktur (f.eks. udstyr, laboratorier og regnekraft) er afgørende for at udvide forskningens grænser og muligheder for at skabe banebrydende resultater. Infrastrukturen spiller desuden en vigtig rolle for uddannelse, rekruttering og fastholdelse af talent på de danske forskningsinstitutioner.

Samtidig er forskningsinfrastruktur til for eksempel fremstilling og test af kvanteteknologi, samt målings- og kalibreringsteknikker afgørende for udviklingen af internationale standarder for nye kvanteprodukter. Adgang til faciliteter på universiteterne og på de Godkendte Teknologiske Serviceinstitutter (GTS) har også stor betydning for virksomheder, der kan have behov for at teste teknologi, før den kan markedsføres.

Danmark har et godt udgangspunkt i den nuværende forsknings- og testinfrastruktur bl.a. gennem øremærket finansiering fra den nationale pulje for forskningsinfrastruktur. Derudover har de danske universiteter og GTS-institutter m.v. foretaget flere investeringer i forskningsinfrastruktur med støtte fra både de offentlige og private fonde. Det gælder også i kraft af dansk deltagelse i en række internationale infrastrukturinitiativer, f.eks. det danske medværtsskab af materialeforskningsfaciliteten European Spallation Source (ESS). Dertil kommer, at Danmark har etableret et nationalt samarbejde om digital forskningsinfrastruktur med etablering af Danish e-Infrastructure Cooperation (DeiC), som er et samarbejde mellem Danmarks otte universiteter og Uddannelses- og Forskningsstyrelsen. Samtidig ønsker regeringen, at det strategiske kvanteprogram jf. initiativ 1 skal støtte test- og demonstrationsfaciliteter i Danmark.

Behovet for tidssvarende og stærke databehandlingsystemer er stigende, og den digitale forskningsinfrastruktur er blevet væsentligt mere kompleks og ressourcerkævende, ligesom der stilles større krav til den fysiske og digitale sikkerhed og risikohåndtering omkring infrastrukturen. Dette øger omkostningerne til at etablere tilstrækkelige adgange for forskere og studerende.

Dansk deltagelse i EU-partnerskabet omkring LUMI-Q

På supercomputerområdet er EU-samarbejdet organiseret i det europæiske fællesforetagende, EuroHPC, hvor Danmark via DeiC er med i etableringen af supercomputeren LUMI (Large Unified Modern Infrastructure), der er fysisk placeret i Finland. LUMI er på nuværende tidspunkt den største supercomputer i Europa og den tredje største i verden. EuroHPC har for nylig offentliggjort en udbygning af LUMI gennem en hybrid-high-performance kvantecomputer (LUMI-Q), som udnytter fordelene af særlige beregningsmodeller på en kvantecomputer. Den danske deltagelse i LUMI-Q løftes også af DeiC.

7

Adgang til kvantecomputere

Adgang til kvantecomputere og herunder forskellige test- og teknologiplatforme til en kvantecomputer giver de danske forskningsinstitutioner mulighed for at bruge de forskellige teknologiplatforme og udføre forskning, som både gavner udvikling af hardware og software komponenter til kvantecomputeren. Adgang til eksisterende test- og teknologiplatforme til en kvantecomputer er begrænset og kræver større investeringer.

Regeringen vil i regi af Danish e-Infrastructure Cooperation (DeiC) iværksætte en styrket indsats for at give danske forskere og studerende brugeradgange til så mange test- og teknologiplatforme til en kvantecomputer som muligt. I første omgang har regeringen og et bredt flertal i Folketinget prioriteret 50 mio. kr. til indsatsen i 2023 via den politiske aftale om fordeling af forskningsreserven for 2023. Midlerne udmøntes af DeiC og skal bidrage til at øge de danske brugeradgange til kvantecomputere.

De første eksperimentelle kvantecomputere tilgås som separate anlæg, men de store fordele opnås, når kvantecomputerne opbygges og anvendes som accelerator-komponenter i supercomputere (High Performance Computing), eksempelvis som det er målsætningen gennem LUMI-Q. På længere sigt er det regeringens ambition, at Danmark skal lede et konsortium med internationale partnere om at etablere og drive en kvantecomputer som acceleratorkomponent til supercomputeranlæg i Danmark.

8

En national kompetenceopbyggende indsats

Regeringen og et bredt flertal i Folketinget har med den politiske aftale om fordeling af forskningsreserven for 2023 iværksat en national kompetenceopbyggende indsats i regi af DeiC for at understøtte, at Danmark fuldt ud udnytter adgangen til kvantecomputere og supercomputere (HPC-anlæg) til gavn for dansk forskning og innovation på kvanteområdet.

Den nationale kompetenceopbyggende indsats skal gennemføres i sammenhæng med kompetenceopbyggende aktiviteter i EU. EU-samarbejdet på supercomputerområdet (EuroHPC) tilbyder en ramme for både forskere og virksomheder til opbygning af kompetencer.

For at løfte den nationalt koordinerende og administrative opgave i at udvikle og gennemføre kompetenceopbyggende aktiviteter skal DeiC indgå i strategiske partnerskaber med relevante aktører, f.eks. de nationale viden- og erhvervsklyngeorganisationer, erhvervshusene og GTS-institutter, om at bidrage med viden blandt virksomheder. Hertil kommer, at indsatsen skal udbrede kompetencer og øge forståelsen for kvanteteknologiens potentialer og risici hos forskere og andre specialister, som ikke har kvanteteknologi som primært fagområde, men for hvem en bedre forståelse for kvanteteknologi vil være relevant for samfundet.

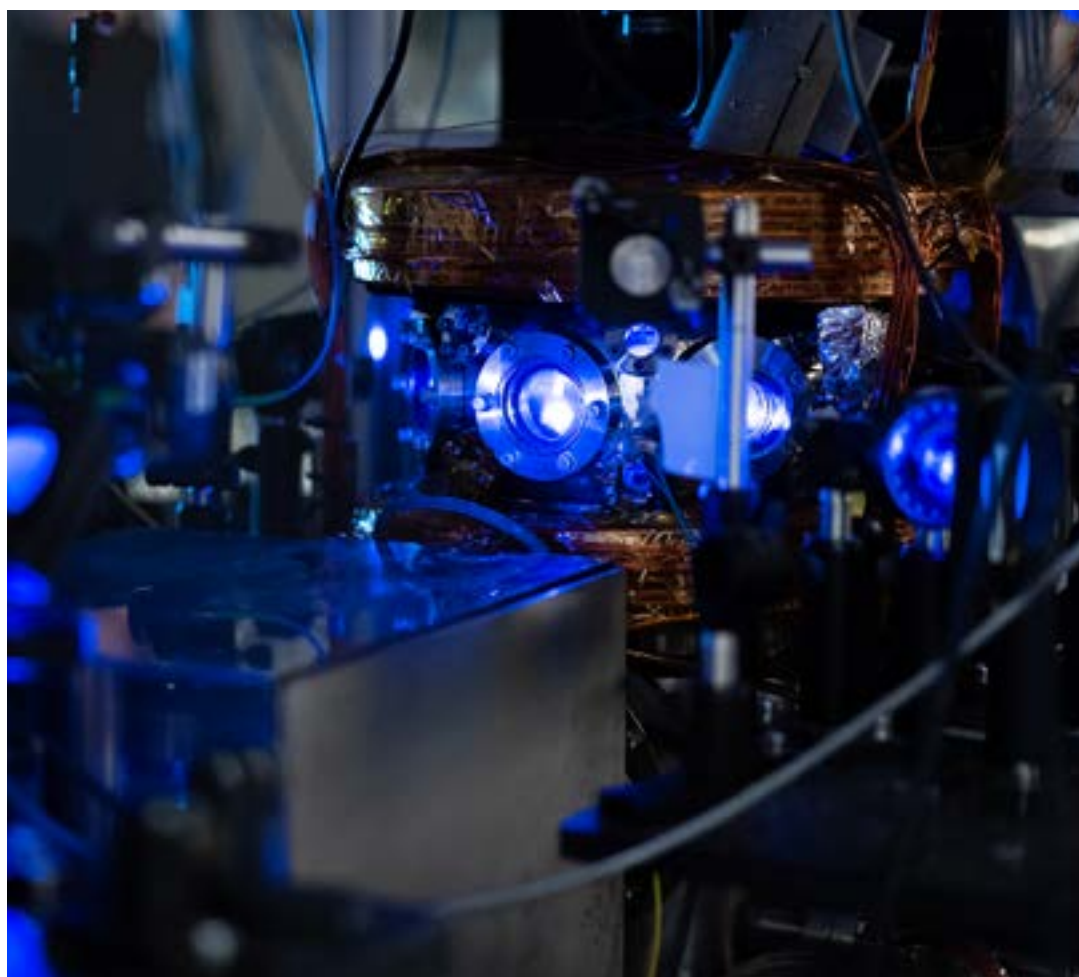


Quantum Excellence Center for udvikling og test af kvantealgoritmer

Kvantecomputere har potentialet til at løse nogle af vor tids største udfordringer. Det kræver imidlertid, at der udvikles en ny generation af software og algoritmer, som kan benyttes på tværs af de forskellige typer kvantecomputerteknologier. Fremkomsten af kvantecomputere kræver en fundamental nytænkning i anvendelsen af beregningskapacitet.

For at frigøre potentialet er der behov for at bringe danske og europæiske brugere af kvantecomputere sammen og at lette udviklingen og udbredelsen af kvanteapplikationer. Det er ambitionen, at Danmark skal deltage i konsortier med de bedste forskningsgrupper inden for supercomputerområdet (HPC) om f.eks. udvikling af næste generation af algoritmer og software relateret til kommende kvantecomputere og kvantesimulatorer.

Regeringen og et bredt flertal i Folketinget har med den politiske aftale om fordeling af forskningsreserven for 2023 iværksat en indsats i regi af Danish e-Infrastructure Cooperation (DeiC) for at tiltrække et europæisk Quantum Excellence Center for kvantesoftware og algoritmer. Formålet er, Danmark skal lede et europæisk konsortium med henblik på at bedrive forskning i og udvikling af kvantesoftware og kvantealgoritmer på højt internationalt niveau.



Bilag

Baggrund og proces for strategiens udarbejdelse

Denne publikation er 1. del af en National Strategi for Kvanteteknologi. Til efteråret 2023 vil regeringen præsentere sidste del af strategien med fokus på hele økosystemet og dermed understøtte både udvikling, kommercialisering og anvendelse af kvanteteknologi i Danmark.

Del 1 er udarbejdet af Uddannelses- og Forskningsministeriet i tæt dialog med det øvrige tværministerielle kvanteseekretariat bestående af Erhvervsministeriet, Udenrigsministeriet, Forsvarsministeriet og Digitaliserings- og Ligestillingsministeriet.

Et væsentlig input til strategien er kortlægningen af forskning på kvanteområdet, som Uddannelses- og Forskningsstyrelsen har gennemført i foråret 2022. Kortlægningen af-dækker bl.a. omfanget og karakteren af kvanteforskning i Danmark, styrker og svagheder, universiteternes samspil med virksomheder, kommercialisering af forskning, opbygning af kompetencer og Danmarks internationale samarbejde på området. Kortlægningen er baseret på indsamling af data fra en række delanalyser, herunder en spørgeskemaundersøgelse blandt universiteter, forskningsinstitutioner, organisationer samt private og offentlige forskningsfinansierende fonde.

Som optakt til strategiarbejdet har Uddannelses- og Forskningsministeriet afholdt et rundbordsarrangement i juni 2022 for universiteter, forskningsinstitutioner, organisationer og private forskningsfinansierende fonde. Samtidig har Uddannelses- og Forskningsministeriet afholdt en række bilaterale dialogmøder med aktørerne som input til strategiarbejdet.

Følgende rapporter har i særlig grad bidraget til strategiens vidensgrundlag:

- Uddannelses- og Forskningsstyrelsen (2022): Kortlægning af forskning på kvanteområdet og samspillet mellem universiteter og virksomheder
- Erhvervsstyrelsen (2022): Kortlægning af økosystemet for kvanteteknologi i dansk erhvervsliv
- Danish Quantum Community (2022): Danish Quantum Agenda 2022
- Danish Quantum Community (2022): Quantum-Related Cybersecurity in Denmark
- KPMG (2020): Quantum technology in Denmark – The case for Danish investment in quantum technology
- EU-Kommissionen (2020): Strategic Research Agenda – Quantum Flagship