



# Kortlægning af økosystemet for kvanteteknologi i dansk erhvervsliv

Juni 2022

# Indhold

<b>1.0 Indledning</b>	<b>3</b>
1.1 Hovedkonklusioner	4
<b>2.0 Hvad er kvanteteknologi</b>	<b>5</b>
2.1 Intro til teknologien	5
2.2 Nationale og internationale aktiviteter	7
<b>3.0 En forståelse af det danske økosystem</b>	<b>9</b>
3.1 Virksomheder primære positioner inden for anvendelsesområderne i kvanteteknologi	11
3.2 Udbud og anvendelse af komponenter og algoritmer	12
<b>4.0 Udfordringer og muligheder</b>	<b>14</b>
4.1 Brug for videndeling og anvisning af muligheder for potentielle anvendere	14
4.2 Anvendelse af teknologien skal fremmes	15
4.3 Mere risikovillig kapital til kommercialisering af teknologien	15
4.4 Fastholdelse og tiltrækning af store internationale tech-virksomheder	16
4.5 Økosystem af startups bør styrkes	16
4.6 Behov for en fælles politisk strategisk retning	17
<b>5.0 Bilag</b>	<b>18</b>
Bilag 1 – Metode	18
Bilag 2 – Overblik over virksomheder i kortlægningen	19
Bilag 3 – Barrierer og muligheder	20

## Figur- og tabeloversigt:

- Figur 1 - Kvanteteknologiens forskellige dele (s. 5)
- Figur 2 - kvanteteknologiens forskellige dele og dens anvendelse (s. 6)
- Figur 3 - Forskningsaktiviteter på danske universiteter (s. 7)
- Figur 4 – Internationale private investeringer i kvanteteknologi (s. 8)
- Figur 5 - Internationale aktiviteter (s. 9)
- Figur 6 – Virksomhedernes primære positioner i økosystemet (s. 10)
  
- Tabel 1 - Overblik over virksomheder (s. 19)
- Tabel 2 - Barrierer for udviklingen (s. 20)
- Tabel 3 - Mulige handlinger (s. 21)

## 1.0 Indledning

Kvanteteknologien udvikles hastigt i disse år og hvis Danmark skal være med i front og udvikle nye kommercielle produkter og skabe vækst gennem anvendelse af de nye muligheder, så kræver det at kvanteteknologien rykker op på dagsordenen i de danske bestyrelseslokaler og blandt investorer mv.

Derfor vil regeringen med *Danmarks digitaliseringsstrategi* tage initiativ til at udarbejde en bred national strategi for erhvervslivets udvikling og kommercialisering af kvanteteknologien. Strategien skal sammentænke Danmarks erhvervs-, forsknings-, udenrigs- og sikkerhedspolitiske interesser i kvanteteknologi og lægge sporene for nye indsatser. Denne *kortlægning af økosystemet for kvanteteknologi i dansk erhvervsliv* skal blandt andet danne grundlag for herfor.

For over 100 år siden dannede Niels Bohrs banebrydende atommodel grundlaget for at forstå kvantemekanikken, og indsigterne fra kvantemekanikken har været fundamentale for den teknologiske og digitale udvikling lige siden. Det er indsigterne fra kvantemekanikken, der har banet vejen for udviklingen af lasere og MR-skannere, til mikroprocessorer og GPS. I disse år står vi over for en ny udvikling, hvor vi ikke blot forstår og udnytter de kvantemekaniske principper, men også kan *kontrollere* kvantemekaniske processer.

Der er ingen tvivl om, at potentialet i kvanteteknologi er stort ude i fremtiden, og mange rapporter og analyser peger på potentialet om 5-10 år. Men en del af potentialet i teknologien kan udnyttes allerede i dag, og der er en række områder, hvor danske virksomheder udnytter teknologien og er blandt de dygtigste i verden inden for deres felt. Og vi skal have endnu flere med.

Denne kortlægning giver et overblik over aktiviteter, udfordringer og muligheder i økosystemet for kvanteteknologi i dansk erhvervsliv på baggrund af interviews med 18 virksomheder og en række øvrige aktører.

På grund af arven fra Niels Bohr har Danmark en klar styrkeposition inden for kvanteforskning, men overgangen fra forskning til kommerciel udvikling og anvendelse kræver investeringer, koordination og politisk fokus. Flere nye tiltag er allerede sat i gang i 2022, fx er Danmark blevet udvalgt af NATO til at etablere et acceleratorforløb og testcenter for kvanteteknologi og Danmark har ansøgt om at deltage i EU's Quantum Technologies Flagship om udvikling af ultrasikker kvantekommunikation.

I Kapitel 1 præsenteres kortlægningens hovedkonklusioner, og der peges på hvilke tiltag virksomhederne efterspørger. Kapitel 2 gennemgår en beskrivelse af, hvad kvanteteknologi er, og hvilke aktiviteter, der findes i Danmark og internationalt. Kapitel 3 giver et overblik over de danske virksomheder, der arbejder med kvanteteknologi, mens Kapitel 4 præsenterer udfordringer og muligheder for udvikling af kvanteteknologi i Danmark. Afslutteligt findes kortlægningens bilag.

## 1.1 Hovedkonklusioner

- **Brug for videndeling og anvisning af muligheder for potentielle anvendere.** Der efterspørges videndeling på flere niveauer i det danske miljø for kvanteteknologi. Dels efterspørges det, at der videndeles og i højere grad samarbejdes mellem universiteter, myndigheder og virksomheder, og dels peges der på at de potentielle anvendere i højere grad skal vide hvorfor kvanteteknologi er relevant og aktuel, allerede i dag.
- **Anvendelse af teknologien skal fremmes.** Flere virksomheder peger på, at teknologien allerede i dag kan anvendes fx i kvantesensorer eller til simuleringer. Herudover peges der på, at Danmarks stærke position inden for materialeproduktion kan omsættes til udvikling af kommercielle produkter.
- **Mere risikovillig kapital til kommercialisering af teknologien.** Det er muligt at skaffe finansiering fra fx EU og Innovationsfonden til udviklingsprojekter, men flere mindre virksomheder peger på behov for mere risikovillig kapital fra fx større, private investorer til skalering og kommercialisering af teknologien.
- **Fastholdelse og tiltrækning af store internationale tech-virksomheder.** Microsoft og IBM har allerede placeret udviklingsafdelinger i Danmark, men der peges på, at der fortsat er behov for fokus på at fastholde og tiltrække store internationale tech-virksomheder. Det er nødvendigt for fortsat at kunne udvikle kvanteteknologien og fastholde talenter i Danmark.
- **Økosystem af startups bør styrkes.** Der er behov for bedre rammer for startups og spin-outs. Flere virksomheder fremhæver, at der bør ses i retning af Storbritannien, Holland, Israel og USA, når det kommer til udvikling af strategier for kommercialiseringen af teknologien.
- **Behov for en fælles politisk strategisk retning,** der samler fragmenterede aktiviteter og understøtter skaleringen af miljøet. Foruden efterspørgslen på en stor offentlig investering understreges det af flere virksomheder, at der er brug for en strategi for den kommercielle udvikling og anvendelse af kvanteteknologi i Danmark.

*“Hvis vi spiller vores kort rigtigt, så kan vi stå foran et kæmpemæssigt eksporteventyr. Det er vigtigt ikke at se kvanteteknologi, som et isoleret eksportområde, men også som en teknologi, der vil give eksisterende nationale clusters – eks. cleantech og life science”  
(Trifork, ERST 2022)*

## 2.0 Hvad er kvanteteknologi?

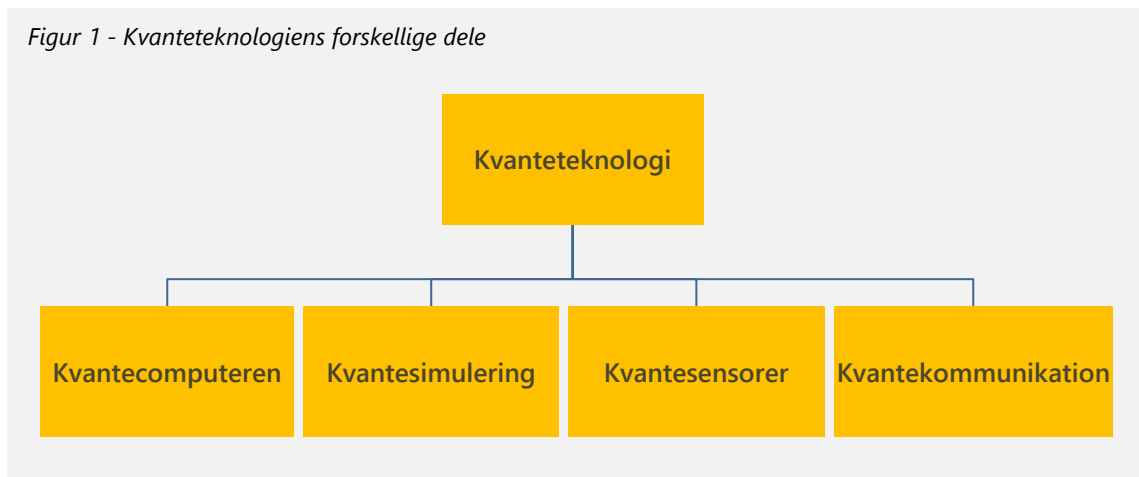
### 2.1 Intro til teknologien

I disse år står verden over for den anden kvanterevolution. Her er det centrale, at mens den første kvanterevolution, i sidste halvdel af det 20. århundrede, *udnyttede forståelsen* af kvantemekanikkens principper, bliver det i den anden kvanterevolution muligt at *kontrollere* kvantemekaniske processer.<sup>1</sup> Der har i mange år været tale om udviklingen af en kvantecomputer. Det begyndte helt tilbage i 1980'erne. Men kvanteteknologi er meget mere end blot kvantecomputere. De kvantemekaniske principper kan også sættes i spil både når det gælder sensorer, kommunikation og inden for simulering på konventionelle computere.

De første produkter af den nye kvanteteknologi er allerede på markedet. Produkterne udvikles i forskellig hastighed og med forskellige tidshorisonter – derfor er det nu relevant at se på kvanteteknologiens forskellige dele og undersøge, hvor det er relevant at tage teknologien i anvendelse i dag. I denne kortlægning fokuseres på anvendelsen af teknologien i det civile erhvervsliv, og dermed ikke inden for fx forsvar eller udvikling af forskning.<sup>2</sup>

I Figur 1 er en oversigt over den overordnede inddeling af kvanteteknologien i dag. Det drejer sig om fire områder: Kvantecomputere, -simulering, -kommunikation og -sensorer. For hvert af de fire områder er forskellige tidshorisonter for udviklingen og anvendelsen af teknologien, ligesom der også er forskelle i den måde som teknologierne kan anvendes på.

Figur 1 - Kvanteteknologiens forskellige dele



3

I Figur 2 herunder beskrives de fire dele af teknologien nærmere, ligesom eksempler på anvendelse af de enkelte dele fremhæves.

<sup>1</sup> [NIST 2018](#)

<sup>2</sup> Quantum technology in Denmark, KPMG 2021

<sup>3</sup> I modellen medtages ikke kvanteinspireret teknologi, da det ofte ikke medtages i litteraturen som en af kvanteteknologiens dele. Disse systemer befinder sig dog i et grænseområde mellem konventionel teknologi og kvanteteknologi, og det fylder noget for de virksomheder, der arbejder med kvanteteknologi i Danmark. Derfor vil området kvanteinspireret teknologi være at finde i kortlægningens øvrige modeller.

Figur 2 - kvanteteknologiens forskellige dele og dens anvendelse

### **Kvantecomputer**

*En computer, som fungerer ud fra kvantemekaniske principper. Fordi computeren ikke arbejder med binære bits, der kan have værdien 1 eller 0, men derimod såkaldte kvantebits (Qbits), der kan have værdien 1 og 0 på samme tid, så kan den udføre beregninger som ikke er mulige på computere i dag. De første kvantecomputere findes allerede i dag, og udvikles af virksomheder som IBM, Microsoft, Google m.fl., og en række virksomheder stiller kvantecomputere til rådighed over cloud.*

*Dog er det fortsat få opgaver, som kvantecomputeren løser bedre end en konventionel computer, men virksomhederne forventer at det vil ændre sig inden for de næste 1-2 år.*

*Anvendelse: Simulering i større skala, prognoser m.v.*

### **Kvantesimulering og kvanteinspireret teknologi**

*Kvantesimulering foretages på en kvantesimulator, der er et system, der kun simulerer ét specifikt kvantemekanisk problem. Dette system er forskellig fra kvantecomputeren, som kan løse alle mulige problemer.*

*Med en kombination af intelligent traditionel software og kvantehardware kan matematiske problemer inden for QUBO<sup>1</sup> løses. Med benyttelse af D-Waves<sup>1</sup> kvantesystem kan problemer løses hurtigere, da kvanteeffekterne i anvendelsen af qubits udnyttes. Denne form for optimering kan også foretages uden for et kvantesystem. Dermed er Quantum Inspired Optimisation ikke quantum computing, men inspireret derfra. Om kategorien quantum inspired skal inkluderes i en gennemgang af kvanteteknologi kan derfor diskuteres, men da der ses en del aktivitet inden for dette område i økosystemet for kvanteteknologi, er det inkluderet i denne kortlægning. *Anvendelse: Kemiske simulationer, risikoanalyser, optimering af transportruter, m.v.**

### **Kvantekommunikation**

*Kommunikation, som krypteres ved hjælp af kvantemekaniske principper. Dette gør kryptering ubrydelig, selv med en kvantecomputer. Data løber igennem fiberoptiske kabler, men rækkevidden for kommunikationen er endnu begrænset. Derfor arbejdes der på at etablere en række forsøgsprojekter, bl.a. i Danmark, som skal vise hvordan kvantekommunikation kan integreres i virksomheders og offentlige myndigheders eksisterende infrastruktur.*

*Anvendelse: Ubrydelig kryptering af data*

### **Kvantesensorer**

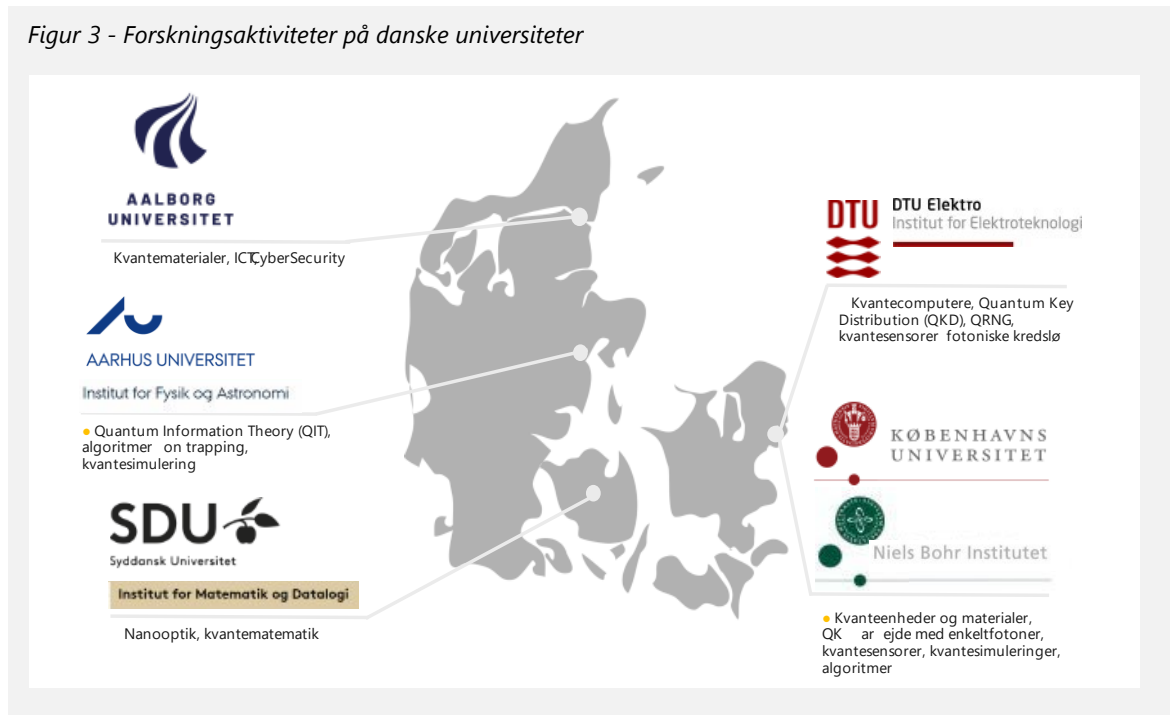
*Sensorer, som måler meget små variationer i tyngdefeltet, og leverer målinger med langt mindre usikkerhed end konventionelle sensorer. Der findes allerede i dag en række virksomheder som tilbyder specialiseret brug af kvantesensorer, og det vurderes at være en af de mest modne og anvendelsesparate dele af kvanteteknologien i dag.*

*Anvendelse: Præcis kortlægning af undergrunden inden et byggeprojekt, radar til militært brug, måling af nerveimpulser i hjernen, m.v.*

## 2.2 Nationale og internationale aktiviteter

### Nationale aktiviteter

Forskning i kvantemekanik og - teknologi er ikke et nyt felt, men har i de senere år været under hastig udvikling. I Danmark findes verdensførende forskning inden for kvanteteknologi med aktiviteter på universiteter fordelt i hele Danmark, jf. Figur 3.



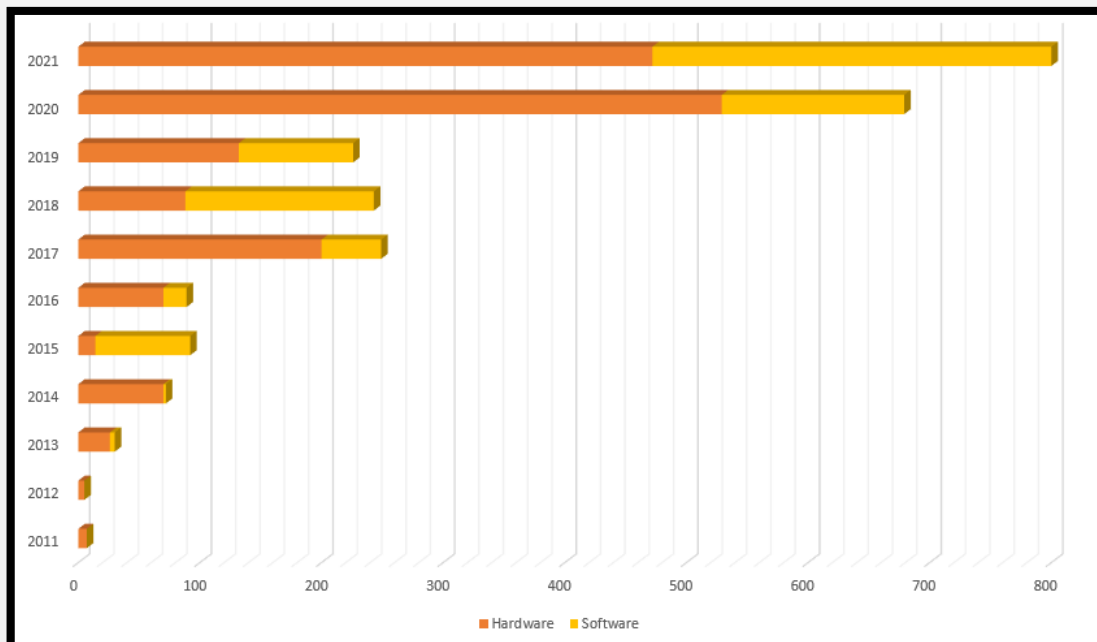
For at samle aktiviteten inden for kvanteteknologi og skabe øget vidensdeling blev foreningen Danish Quantum Community etableret i 2021. Initiativet til foreningen blev taget af danske forskere, og i dag består foreningen af danske forskningsmiljøer, virksomheder og interesseorganisationer.

### Internationale aktiviteter

Investeringer i kvanteteknologi har været stigende over de seneste år på globalt plan. I Figur 4 ses en illustration af private investeringer i virksomheder, hvor det er tydeligt at der de seneste år ses en tydelig vækst i investeringer. Og forventningen er, at tendensen fortsætter i de kommende år (KPMG 2021). Det ses også tydeligt, at en betragtelig del af investeringerne er i hardware, hvilket skyldes det store fokus på udviklingen af materialer, som kan bruges i kvanteteknologiens forskellige dele. Det er også denne tendens, der ses hos de danske virksomheder, der arbejder med kvanteteknologi.

Figur 4 – Internationale private investeringer i kvanteteknologi

Mere end to tredjedele af private investeringer inden for kvantecomputere er blevet lavet siden 2018. Tallene er angivet i mio. kroner



\*2021-tal er estimater

Kilde: [BCG, 2021](#)

Internationalt er der i en række lande, gennem de seneste år, blevet fokuseret og investeret massivt i kvanteteknologi. Bl.a. er der præsenteret nationale strategier i flere lande. I kortlægningen peger flere virksomheder på, at Danmark bør se på, hvordan andre lande håndterer udvikling af teknologien, og her fremhæves især Holland, Storbritannien, Tyskland og Israel. Som et eksempel har Storbritannien lavet fire centre, der fokuserer på kommercialiseringen af teknologien inden for hhv. computing/simulation, kvantekommunikation, sensorer og imaging<sup>4</sup>. I disse centre får virksomheder støtte til at udvikle deres forrentning. Et andet eksempel er Israel, der har lavet et acceleratorprogram.

*"I UK har man dannet nogle kvantecentre og lavet økosystem og spin-out system for kvante i en community-model" (Sparrow Quantum, ERST 2022).*

<sup>4</sup> [UK National Technologies Programme](#)



I Figur 5 ses et overblik over nogle af de mest aktive lande med aktiviteter inden for kvanteteknologi. Mens der i Kina og USA findes mest kapital og de største investeringer ses også en markant prioritering af udviklingen af kvanteteknologiens dele i andre lande. Af landene, som vi sammenligner os med, som beskrevet ovenfor, investeres der i Holland 4,6 mia. kr. (€615 mio.), i Frankrig 13,4 mia. kr. (€1,8 Mia.) og i Tyskland 14,9 mia. kr. (€2 mia.), hvoraf 8,2 mia. kr. (€1,1 mia.) afsættes til udviklingen af en kvantecomputer. Herudover er det også målet i EU-regi at udvikle en kvantecomputer og kvantekommunikationsinfrastruktur som en del af Quantum Flagship, hvor der i alt er afsat 7,45 mia. kr. (€1 mia.). I Israel er der investeret 426 mio. kr. (\$62 mio.) bare til udviklingen af en kvantecomputer<sup>5</sup>.

Figur 5 - Internationale aktiviteter



### 3.0 En forståelse af det danske økosystem

I Danmark findes en række virksomheder, der arbejder med kvanteteknologi inden for forskellige områder. I Bilag 2 ses en opstilling af de virksomheder, der indgår i denne kortlægning. I det følgende beskriver vi, hvordan økosystemet for kvanteteknologi kan inddrages for at få overblik og en bedre forståelse for dynamikken mellem virksomhederne.

<sup>5</sup> [Internationale aktiviteter på inden for kvanteteknologi](#)

Den primære opdeling er anvendelsesområdet: Kvantecomputer, kvantesimulering, kvantekommunikation og kvantesensorer. Dernæst undersøges hvorvidt virksomhederne er udbydere eller potentielle anvendere af kvanteteknologi. Til sidst defineres det om virksomhederne, der udvikler kvanteteknologi, arbejder med komponenter (materialeproduktion) eller algoritmer. Dette anskueliggøres i Figur 6.

Figur 6 – Virksomhedernes primære positioner i økosystemet

Kvantecomputeren	Udbydere	Komponenter	NKT Photonics
			Sparrow Quantum
Algoritmer		Accelink	
		Qdevil ApS	
	SiPhotonIC		
Simulering			Beamfox
Inspireret			DFM
Kommunikation	Anven-		IBM Denmark
			Microsoft Denmark
Sensorer			MQS
			Trifork
			KPMG
			Cryptomathic
			Zybersafe
			Dencrypt
			Danske Bank
			TDC Net
			EnergiNet
			(DFM)
			(NKT Photonics)

6

<sup>6</sup> I Figur 6 er det vigtigt at bemærke, at en simplificeret model som denne er med til at skabe overblik, mens nogle nuancer udelades. Flere virksomheder er fx at finde i flere kategorier, eller også har de aktiviteter, der er svære at tilpasse i inddelingen. Desuden skal det bemærkes, at de interviewede potentielle anvendere blot er tre udvalgte virksomheder, der kan tage teknologien i brug. Dermed er der ikke tale om en udtømmende liste.

## 3.1 Virksomheder primære positioner inden for anvendelsesområderne i kvanteteknologi

### *Kvantecomputer*

Der findes hovedsageligt virksomheder i Danmark, som udvikler delkomponenter til brug i kvantecomputere. Det drejer sig dog fortsat om relativt små virksomheder med under 30 medarbejdere. IBM og Microsoft spiller også en central rolle her, da de allerede udvikler kvantecomputere. Flere virksomheder peger på, at de centrale aktører i miljøet for kvanteteknologi i Danmark er netop Microsoft og IBM, der i kraft af deres størrelse har muligheder for at udvikle og vise nye anvendelser af teknologien.

### *Kvantesimulering og Kvantinspireret teknologi*

Inden for kvantesimulering på reelle systemer placeres de store internationale tech-virksomheder som IBM og Microsoft og den mindre danske start-up Molecular Quantum Solutions (MQS), som laver simulering inden for forskning i udvikling af ny medicin.

Inden for kvanteinspireret teknologi findes konsulenthuset KPMG og techvirksomheden Trifork. Alle fire virksomheder peger på, at der er brug for mere aktivitet på disse områder, da det er en del af teknologien, som er moden til anvendelse nu, og som kan være med til at forberede danske virksomheder på at tage teknologien i brug, efterhånden som kvantecomputerne udbredes og tages i anvendelse. Dermed peger de på, at dette område har et stort potentiale for potentielle anvendere.

### *Kvantekommunikation*

Der ses en interesse fra potentielle anvendere, der arbejder med fx kritisk infrastruktur, grundet muligheden for at opnå sikker kommunikation. Derfor har virksomhederne *Danske Bank*, *TDC Net*, *EnergiNet* aktiviteter inden for dette område. Her skal det dog pointeres, at virksomhederne, og andre potentielle anvendere, på sigt også ville kunne anvende kvantecomputere til beregninger. Dermed skal opdelingen ikke ses som definitiv, men et forsøg på at skitsere primære aktiviteter og interesser. Interessen ses også hos virksomheder, der udvikler og udbyder kryptering, og derfor er virksomhederne *Cryptomathic A/S*, *Zybersafe* og *Dencrypt* også placeret her.

### *Kvantesensorer*

Inden for forskningen i Danmark ses stor udvikling inden for kvantesensorer. På grund af Danmarks tradition inden for sensorteknologi i Danmark<sup>7</sup> peger Danish Quantum Community derfor på, at anvendelsen af kvantesensorer er oplagt. Både DFM og NKT Photonics har aktiviteter, som er relevante i denne sammenhæng for virksomheder inden for pharma, lydteknologi, fødevareranalyse, høreapparater og forsvar.

---

<sup>7</sup> Ambu (pharma); Brüel & Kjær (lydteknologi); Dantec (partikelteknologi); FOSS (fødevareranalyse); GN Resound, Oticon, og Widex (høreapparater); Radiometer (medical analysis); Weibel and TERMA (forsvar og rumteknologi) – DQC 2021

## 3.2 Udbud og anvendelse af komponenter og algoritmer

### *Potentielle anvendere*

I denne kortlægning er der afdækket interesser blandt mulige anvendere af kvanteteknologi, som kunne tænkes at anvende kvanteteknologi i fremtiden - Danske Bank, TDC Net og EnergiNet. Eksempler på virksomheders anvendelse af kvantesimuleringer findes især inden for logistik, forsikring, finans og udvikling af ny medicin.

De potentielle anvenderne, som er medtaget i kortlægningen, ser et stort potentiale i teknologien, men er udfordret, da udbuddet af standardiserede løsninger inden for kvanteteknologi fortsat er meget begrænset. Det gælder både for Danske Bank, TDC Net og EnergiNet. Virksomhederne har dog en interesse for feltet og mens TDC Net og Danske Bank begge er involveret i testprojekter (hhv. Quanterror og CryptQ<sup>8</sup>) indtager EnergiNet en undersøgende position med bevidstheden om at *"man i fremtiden møder nye store opgaver, som den konventionelle computer ikke kan udregne"* – (EnergiNet, ERST 2022). Herudover pointerer virksomheden Accellink, at der indenfor telecom-området er en interesse i at lave kvantekryptering.

### *Udbydere*

Som tidligere beskrevet er det især på udbydersiden, at der ses aktivitet i Danmark. Her beskriver Microsoft, at *"Danmark er stærkt repræsenteret på materialesiden"* (Microsoft, ERST 2022), og det er denne højteknologiske udvikling og produktion, der kendetegner miljøet for kvanteteknologi i Danmark nu. Virksomhederne er fx NKT Photonics A/S, Sparrow Quantum ApS, Accelink, Qdevil ApS, SiPhotonic og Beamfox.

Fælles for disse er, at de udvikler komponenter, som kan bruges inden for kvanteteknologi. Der er dog stor forskel på disse materialer, der spænder fra producenter af komponenter til telecom-området (fx Accelink), der er interesseret i følge med udviklingen, for at kunne levere komponenter der stadig kan fungere i systemet med kvantekryptering, til lasere til brug i den optiske kvantecomputer (NKT Photonics) til QDevils såkaldte Qcage, der er en "beholder" til en kvanteprocessor i kvantecomputeren. Hovedsageligt udvikles komponenter til brug i kvantecomputeren, men en vigtig pointe er, at flere af komponenterne og kan anvendes i andre dele af teknologien, som fx kvantekommunikation og kvantesensorer.

Der ses også en gruppe af virksomheder på udbydersiden, der ikke arbejder direkte med udvikling af materialer til kvanteteknologi, men som i dag har aktiviteter inden for kryptering. Disse udvikler ikke teknologien, men arbejder på at udvikle kryptering, der er sikker – selv når kvantecomputeren udvikles og nutidens RSA-kodning<sup>9</sup> kan brydes – såkaldt *post quantum crypto*. Disse virksomheder er Cryptomathic A/S, Zybersafe og Dencrypt. De placerer sig et sted mellem udbydere og potentielle anvendere, da de ikke udvikler kvanteteknologi, men de udvikler teknologi, der relaterer sig til kvanteteknologi.

---

<sup>8</sup> [DTU, 2022](#)

<sup>9</sup> [Rivest-Shamir-Adleman \(RSA\) krypteringalgoritmen](#) er asymmetrisk kryptering. Denne form for kryptering baserer sig på to nøgler, en privat og en offentlig, hvormed man kan kryptere og dekryptere data. Krypteringen kan brydes ved at løse et regnestykke at to (store) primtal, der er ganget sammen, hvilket ikke er muligt for en konventionel computer, da det er for tidskrævende. Denne udfordring overkommes med kvantecomputere.

### ***Komponenter og algoritmer***

Under kategorien udbydere findes underinddelingen i komponenter og algoritmer. Som beskrevet er der i Danmark i høj grad tale om udvikling og produktion af materialer. Af mindre virksomheder er det kun MQS, der arbejder med algoritmeområdet, da de udnytter kvanteteknologiske principper til simuleringer inden for Pharmaindustrien. Herudover har KPMG, Trifork, Microsoft og IBM aktiviteter på dette område. Helt konkret anvendes en konventionel computer til noget af processen, mens en kvantecomputer i cloud benyttes til den resterende simulering.

## 4.0 Udfordringer og muligheder

I det følgende kapitel fremhæves virksomhedernes bud på hvilke muligheder og udfordringer, der findes i dag. Alle virksomheder i kortlægningen peger på, at der er brug for yderligere at udvikle den kommercielle anvendelse af kvanteteknologi i Danmark. Her nævnes udbygningen af økosystemet som fundamentalt. Det helt centrale argument er, at der er brug for øget videndeling, hvis denne udvikling skal være mulig.

Foruden kortlægningen af det danske økosystem for kvanteteknologi har Danish Quantum Community med udgivelsen af *Danish Quantum Agenda* i juni 2022 anbefalet en række nationale tiltag. Bl.a.:

- At arbejde mod etablering af en dansk klynge for kvanteteknologi for at skabe øget samarbejde mellem virksomheder og universiteter
- Strategisk investering i tidlig integrering af kvanteteknologi i danske virksomheder gennem en række demonstratorprojekter
- Igangsættelse af en række langsigtede forskningsprojekter

Flere peger på at samarbejder om at udvikle økosystemet er vigtigt. Bl.a. peger Sparrow Quantum på, at "*vi skal samarbejde om at danne det marked*" (Sparrow Quantum, ERST 2022). Hvordan dette samarbejde skal se ud, er der forskellige bud på, men at der er brug for en samlende indsats, er tydeligt.

I Bilag 3 er rækken af centrale pointer inden for udfordringer og muligheder for det danske miljø for kvanteteknologi samlet, og det er bl.a. disse indsigter, denne kortlægning tager udgangspunkt i.

### 4.1 Brug for videndeling og anvisning af muligheder for potentielle anvendere

*"Der mangler information i økosystemet"* (Danske Bank, ERST 2022)

Danske Bank ser offentlige myndigheder spille en rolle som *information hub* for virksomheder i økosystemet for kvanteteknologi. NKT Photonics taler om at netværket af universiteter "*...er relativt fragmenteret, og der mangler en samlende kraft*" (NKT Photonics, ERST 2022). I forlængelse af dette beskriver virksomheden, "*Danmark har et netværk af kvante-interesserede virksomheder og personer, men ikke noget erhvervsøkosystem*" (NKT Photonics, ERST 2022).

Flere respondenter peger på, at der aktuelt er brug for udvikling på området for kvanteteknologi, der – uanset om Danmark deltager – udvikler sig markant i disse år. Det skyldes ikke mindst de markante offentlige investeringer og strategiske tiltag i andre lande. Der er muligheder, men det kræver, ifølge Trifork, "*at vi bliver langt mere fokuserede på de kommercielle potentialer inden for kvanteteknologi, og fokuserer på at hente investeringer og risikovillig kapital til Danmark*" (Trifork, ERST 2022).

Virksomhederne Trifork, Sparrow Quantum og MQS peger alle på, at der mangler videndeling, og flere respondenterne taler om nødvendigheden af udbredelsen af viden til medarbejdere i virksomhederne. Flere peger på afholdelse af seminarer/events, hvor virksomheder, der i dag ikke arbejder med kvanteteknologi, kan undervises i hvordan teknologien anvendes i dag, kan hjælpe dem til at

vokse på den korte bane. MQS taler om udvikling af mere teknisk komplekse summerschools eller hackathons, hvor medarbejdere i virksomhederne kan modtage undervisning i hvordan teknologien helt konkret kan anvendes.

Samtidig lægger flere også vægt på, at videndelingen skal gå på tværs af universiteter og virksomheder. Det skal ske for at udvikle et marked for anvendelsen af teknologien. Herunder er det også centralt, at der er enighed om at der ikke er noget marked i dag (eller at det er meget småt), og at et egentligt økosystem er noget, der skal udvikles. At der ikke er meget aktivitet understreges af alle de tre potentielle *anvendere* i kortlægningen, som endnu blot har aktivitet inden for test og afsøgning af teknologien.

## 4.2 Anvendelse af teknologien skal fremmes

Kvantesimulering og kvanteinspireret teknologi er en del af kvanteteknologien, der gør det muligt at simulere udregninger foretaget med principper fra kvantecomputere. Her pointerer både Trifork, KPMG og MQS, at udviklingen af kvantesimulering og -algoritmer, som kan bruges på en klassisk computer, er et område, der skal udbredes mere, da algoritmerne kan tages i anvendelse allerede i dag, og skabe vækst – også på den korte bane.

KPMG og Trifork beskriver at de hjælper kunder med at forstå og udnytte teknologien indenfor en række forretningsområder, mens MQS er et eksempel på hvordan kvantesimulering kan foretages på konventionelle computere. Også her er den manglende viden hos aftagerne central. Når virksomhederne ser mulighederne, vil der muligvis komme mere efterspørgsel, men i øjeblikket efterspørges fx kvantesimulering ikke, fordi virksomhederne ikke er opmærksomme på muligheden og de potentielle gevinster.

Foruden den aktuelle anvendelse af kvantesimulering beskriver Microsoft også, at "det handler om at begynde at anvende kvanteteknologien til konkrete løsninger" og "... det her er helt afgørende af øge kompetencerne indenfor algoritmer og modellering" (Microsoft, ERST 2022).

Dermed ses her en pointe om at anvendelsen af teknologien også er bredere end kvantesimulering, da et vigtigt næste skridt for Danmark kan være at udvikling af materialer omsættes til færdige produkter, der kan sælges på markedet.

## 4.3 Mere risikovillig kapital til kommercialisering af teknologien

Flere virksomheder peger på, at der mangler risikovillig kapital, hvilket især understreges af Sparrow Quantum og Trifork. Her peger Trifork på, at "*der er ikke er store [generelle] barrierer, men manglende risikovillig kapital og mindset*" (Trifork, ERST 2022). Det er flere virksomheders holdning, at en udvikling af økosystemet kræver øget adgang til kapital (Zybersafe, ERST 2022), og at det er svært at rejse penge til små startups (Sparrow Quantum, ERST 2022). Trifork foreslår her, at kvanteteknologiens muligheder i højere grad skal anskueliggøres for de virksomheder, som vil kunne investere i den.

At der mangler store investeringer og risikovillig kapital beskrives også af SiPhotonic, *"It's not only about money, but we need constant investment from the government in the transition from research to industry"* (SiPhotonic, ERST 2022). Dermed ekspliciteres det, at investeringer er en del af løsningen, selvom det ikke er hele svaret. At der er muligheder for at få mindre investeringer i det nuværende system, forklarer QDevil med pointen, *"Der er muligheder for at få funding på de forskellige stadier, virksomheden står på, som fx Horizon Europe og gennem Innovationsfonden"* (Qdevil, ERST 2022). I forhold til hvordan markedet skal etableres, peger QDevil igen på, at aftagersiden skal aktiveres: *"når der er aftagere er der også penge"* (Qdevil, ERST 2022).

Dermed er der mulighed for at rejse funding for mindre virksomheder, men der mangler større investeringer fra aftagere af teknologien. Derfor peges der på, at der offentligt skal investeres i overgangen fra forskning til kommerciel brug og anvendelse af teknologien.

NKT Photonics pointerer, at *"det der mangler i Danmark er den helt store investering som ses i fx USA, UK og Frankrig"* (NKT Photonics, ERST 2022). I disse andre lande ser vi, som beskrevet ovenfor, strategier på kvanteområdet følges op af massive offentlige investeringer. Det er disse store investeringer, som NKT og andre virksomheder peger på, at der mangler i Danmark.

#### 4.4 Fastholdelse og tiltrækning af store internationale tech-virksomheder

Den risikovillige kapital, der efterspørges, kommer fra både investorer og større virksomheder, som kan se et potentiale i at placere aktivitet i Danmark. Flere af virksomhederne i kortlægningen peger på, at det er essentielt for udbygningen af det danske økosystem for kvanteteknologi, at store virksomheder fortsat har aktivitet og udviklingscentre i Danmark: *"Det vil være fordelagtigt for Danmark hvis vi kan få de store spillere - Microsoft, Google, IBM osv. - til at lægge og fastholde deres kvanteudviklingscentre i Danmark"* (NKT Photonics, ERST 2022). Præcis denne pointe understreges også af Trifork.

Der argumenteres for, at der skal skabes et økosystem af talentmassen fra universiteterne og de store virksomheder. Pointen er her, at de bedst kvalificerede fra universiteterne – lige meget om de største virksomheder ligger i Danmark – vil søge til de store virksomheder. Derfor er det vigtigt at bevare disse virksomheder i landet, så Danmark kan fastholde talenterne inden for kvanteteknologi.

IBM og Microsoft har begge bidraget til denne kortlægning, og begge virksomheder har placeret udviklingsafdelinger i Danmark.

#### 4.5 Økosystem af startups bør styrkes

Hos en række af virksomhederne peges der på, at der bør være langt flere startups inden for kvanteteknologi i Danmark, som kan udnytte den store viden og det talent, der udspringer af den verdensførende forskning på feltet.



Sparrow Quantum beskriver, at *"... det ville være godt, hvis der kom langt flere startups"* (Sparrow Quantum, ERST 2022). Virksomheder, der understreger behovet for et økosystem af startups, er Sparrow Quantum, Trifork, IBM, Microsoft, MQS og NKT Photonics.

Der er dog få konkrete bud på hvordan dette startupmiljø skal accelereres. Hos IBM foreslås det, at *"et konkret samarbejde kunne være at etablere adgang til en kvantecomputer, som forskningsinstitutioner og start-ups har adgang til. Det ville være med til at udvikle nye anvendelser"* (IBM, ERST 2022). Andre virksomheder nævner udviklingen af et acceleratorprogram for spin-outs fra universiteterne, og hvor etablerede virksomheder kan prøve at tage teknologien i anvendelse.

Herudover foreslår IBM, at der i udviklingen af det økosystem af startups, der skal udspringe af universiteterne, bør ses på succesfulde initiativer fra MIT (USA) og Industry & Technology Hub (Israel).

Herudover nævner IBM, at nedlæggelsen af Qubiz-acceleratoren i 2018 bremsede det danske økosystem, hvilket der, ifølge IBM, er en af grundene til at der *"kun findes omkring fem reelle startups"* (IBM, ERST 2022). Qubiz var et samarbejde mellem Niels Bohr Institut ved Københavns Universitet, DTU og Aarhus Universitet samt tre udenlandske universiteter og 18 virksomheder, som blev etableret i 2016 men dog ikke forlænget efter perioden<sup>10</sup>. Det er et lignende initiativ, der, ifølge IBM er brug for. Virksomheden uddyber hertil, at *"...antallet af danske startups inden for kvanteteknologi burde være mindst det halve af det amerikanske økosystem, når vi tager højde for hvor mange mennesker vi har med kompetencer inden for feltet"* (IBM, ERST 2022). Det anslås, at det amerikanske startupmiljø for kvanteteknologi består af 80-90 virksomheder<sup>11</sup>.

## 4.6 Behov for en fælles politisk strategisk retning

Flere virksomheder peger på, at der mangler en fælles politisk strategi for kvanteteknologi i Danmark. Dette efterspørges både af Danish Quantum Community i *Danish Quantum Agenda*, og i nærværende kortlægning af DFM, Microsoft, Danske Bank og EnergiNet.

Det fremhæves i de foretagne interviews gentagne gange, at der mangler koordination på området, og at en strategi skal fokusere på ovennævnte pointer i 4.1-4.5. Denne øgede videndeling og en samlet national strategi vil også gøre det nemmere at rejse kapital. Alt dette vil bidrage til at udvikle økosystemet for kvanteteknologi i Danmark.

Hvad en strategi for kvanteteknologi skal indeholde, er der flere bud på. Her kan blandt andet nævnes idéer om at gøre kvanteteknologi til et redskab i den grønne omstilling (EnergiNet, 2022). Herudover nævnes forslag om at lave krav til virksomheder om at gøre sig "klar til kvante" eller at danske myndigheder tager kvantekommunikation i anvendelse i delingen af data.

Dermed er der flere idéer til hvilke elementer der konkret skulle være i en sådan strategi, og der er generelt en efterspørgsel på, at der sættes en politisk retning.

---

<sup>10</sup> [Quantum Innovation Center \(Qubiz\)](#)

<sup>11</sup> [Det amerikanske startupmiljø](#)

## 5.0 Bilag

### Bilag 1 – Metode

I kortlægningen anvendes kvalitative data fra 18 interviews med centrale virksomheder i miljøet for kvanteteknologi i Danmark. Interviewene er foretaget i perioden 10. januar til 4. februar 2022.

Dataene i kortlægningen er indsamlet med henblik på at:

- afdække hvilke virksomheder, der hhv. udvikler og anvender kvanteteknologi i Danmark i dag, og hvad deres arbejde består af. Dette med henblik på en karakterisering af økosystemet – også i relation til den internationale scene.
- afdække hvor virksomhederne gerne vil bevæge sig hen, og hvordan det danske økosystem kunne se ud i fremtiden.
- give bud på hvilke tiltag der skal til, for at bistå danske virksomheder der udvikler og anvender kvanteteknologi og udbygge et økosystem omkring teknologien.

Der er udført interviews med virksomheder, som udvikler kvanteteknologi (Del A) og virksomheder, med interesse for at anvende kvanteteknologi (Del B).

- Del A – virksomheder som udbyder kvanteteknologi
  - Hvilke barrierer findes for virksomheder, der arbejder med forskellige områder inden for kvanteteknologi?
- Del B – Virksomheder som potentielt kan arbejde med kvanteteknologi
  - Hvilke tiltag mangler for at virksomheder, der i dag ikke anvender kvanteteknologi, begynder at interessere sig for området?

Der er anvendt en semistruktureret tilgang til interviewene, da der er taget udgangspunkt i den udarbejdede interviewguide, mens der under interviewene også var mulighed for at forfølge pointer, som opstod under samtalen. Interviewenes varighed var på ca. 60 minutter. Oversigten over virksomhederne ses i Bilag 2, mens udvalgte citater fra interviewene er at finde i Bilag 3.

De deltagende virksomheder i kortlægningen er udvalgt i samarbejde med IT Branchen, DTU og Niels Bohr Institutet, som alle er engageret i Danish Quantum Community. Da aktiviteten inden for kvanteteknologi i Danmark ligger på udviklingen og produktion af materialer – de såkaldte "udbydere" - fylder antallet af disse virksomheder naturligt mere end den gruppe, som defineres som "potentielle anvendere".

## Bilag 2 – Overblik over virksomheder i kortlægningen

Tabel 1 - Overblik over virksomheder

	Virksomhed	Område	Beskrivelse
Udbydere	IBM Denmark A/S	Kvantesystemer, simulatorer, programmeringsredskaber	Udvikling af kvantecomputeren og anvendelse af kvantesimulering
	Microsoft Dev. Center CPH ApS	Nanofabrikation og materialer	Udvikling af kvantecomputeren og anvendelse af kvantesimulering
	NKT Photonics A/S	Enkelfotonkilder	Udvikler bl.a. lasers til brug inden for kvanteteknologien
	Sparrow Quantum ApS	Enkelfotonkilder	Udvikler fotonisk kvanteteknologi baseret på forskning og patenter fra Niels Bohr Institutets Quantum Photonics Lab
	Accelink	Integreret optik	Fremstiller optiske komponenter på silicon wafers (tynd skive af enkrySTALLINSK silicium), som bruges til fremstilling af halvledere.
	Qdevil ApS	Kryoteknologi (materialeudvikling)	Produkter til elektronisk kvante applikation
	SiPhotonic	Integreret optik	Avancerede silicoon fotoniske kredsløb
	Beamfox	Nanofabrikation og materialer	Nano-fabrikation
	DFM A/S	Sensorer og måling	Danmarks Nationale Metrologiinstitut yder en lang række services til private og offentlige virksomheder og myndigheder inden for områder, som har tilknytning til metrologi og akkreditering.
	Molecular Quantum Solutions ApS (MQS)	Data Science	Udvikler simuleringer for pharma-, biotech og kemiindustrien
	Cryptomathic A/S	Kryptografi	Post quantum kryptografi
	Zybersafe	Kryptografi	Hardware – sikkerhedsmoduler til beskyttelse af data og fortrolighed
	Dencrypt	Kryptografi	Post-quantum kryptografi
	Trifork A/S	Techvirksomhed	Fokuserer på anvendelsen af kvanteinspireret teknologi i fx den finansielle sektor, forsikring og logistik
	KPMG New Tech Denmark A/S	Konsulenthus	Arbejder med uddannelse, sikkerhedsvurderinger, kvantekommunikation og udvikling af kvantecomputere
Anvendere	Danske Bank	Bank	Danske Bank koncernen tilbyder bankydelse og andre finansielle serviceydelser. Danske Bank er den største finansielle virksomhed i Danmark.
	TDC Net	Telekommunikation	TDC tilbyder telekommunikationsydelser til danskerne og danske virksomheder.
	EnergiNet	Offentlig virksomhed	Energinet er en selvstændig offentlig virksomhed, som ejer og udvikler el- og gasnettet.

## Bilag 3 – Barrierer og muligheder

Tabel 2 - Barrierer for udviklingen

<b>IBM Denmark A/S</b>	"Hvis virksomhederne vil drage fordel af teknologien, er de nødt til at engagere sig, og sætte sig ind i den. Det er nemlig væsensforskelligt fra måden traditionelle computere fungerer på"
<b>Microsoft Dev. Center CPH ApS</b>	"Danmark er stærkt repræsenteret, når det gælder forskning og udvikling i kvantemateriale, men det er vigtigt for vores position i markedet også at bygge stærke kompetencer inden for udviklingen af løsninger, der benytter kvanteteknologi. Fokus skal være på anvendelse af teknologien til konkrete løsninger. Samarbejder mellem virksomheder og oprettelse af startup miljø"
<b>NKT Photonics A/S</b>	Danmark har et netværk af kvante-interesserede virksomheder og personer, men ikke noget erhvervsøkosystem – endnu. Virksomhederne engagerer sig meget med universiteterne og indgår i forskningsprojekter og tager Ph.D-studerende ind. Men også universitetsområdet er relativt fragmenteret, og der mangler en samlende kraft.
<b>Sparrow Quantum ApS</b>	"Ville være godt, hvis der kom langt flere startups. Det er svært at rejse penge til små startups. I Danmark er der ikke meget risikovillig kapital.
<b>Accelink</b>	"Kryptering og kvantecomputeren er der ikke aftagere til i dag. Men det vil der være når kvantecomputeren udvikles"
<b>Qdevil ApS</b>	"Ikke store barrierer. Der er muligheder for at få funding på de forskellige stadier, virksomheden står på. Horizon, Innovationsfonden osv."
<b>DFM A/S</b>	"Udfordringer at der er så langt tidsperspektiv [ift. prioritering af området]"
<b>Trifork A/S</b>	"Ikke store barrierer, men manglende risikovillig kapital"
<b>Cryptomathic A/S</b>	"Fokus er meget orienteret om forskningsverdenen - Virksomhederne er forsigtige, når de ikke kan se et marked for det"
<b>Zybersafe</b>	"Mangler viden til at sammensætte teknologier og kapital. Mangler nemmere adgang til funding"
<b>Danske Bank</b>	"Der mangler information i økosystemet, så det vil være rigtig godt hvis vi kan dele vores indsigter med resten af økosystemet"
<b>TDC Net</b>	På nuværende tidspunkt er der ingen forespørgsler fra kunder på kvantesikker kryptering
<b>EnergiNet</b>	"Det handler om at udregne prognoser, som det ikke er muligt at beregne i dag"

Tabel 3 - Mulige handlinger

<b>IBM Denmark A/S</b>	"Hvis der kommer en strategi og satsning inden for området kan Danmark blive et nyt Silicon Valley for kvanteteknologi. Et konkret samarbejde kunne være, at etablere en kvantecomputer, som forskningsinstitutioner og startups har adgang til. Det ville være med til at udvikle nye anvendelser"
<b>Microsoft Dev. Center CPH ApS</b>	"Der er talent nok på materialeområdet, og nu handler det om at skabe flere kompetencer inden for algoritmer og modellering"
<b>NKT Photonics A/S</b>	"Det vil være fordelagtigt for Danmark hvis vi kan få de store spillere - Microsoft, Google, IBM osv. - til at lægge og fastholde deres kvanteudviklingscentre i Danmark"
<b>Sparrow Quantum ApS</b>	"Vi skal samarbejde om at danne det marked"
<b>Qdevil ApS</b>	"Man skal sikre store investeringer. Der er ikke et marked nu, men når der er aftagere, er der også penge. Helt konkret skal vi sikre samarbejde mellem universiteter og virksomheder"
<b>SiPhotonIC</b>	"It's not only about money, but we need constant investment from the government in the transition from research to industry"
<b>Beamfox</b>	"Der bør fokuseres på aktiviteter, der kan hjælpe med at kommercialisere teknologien"
<b>DFM A/S</b>	"Hvis man skal have et vækstlag af nye virksomheder, skal de have adgang til testfaciliteter".
<b>MQS</b>	"En aktivitet kunne være at afholde et hackaton eller summer school i kvante-applikationer"
<b>Trifork A/S</b>	"Der er brug for et forum hvor det bliver præsenteret ud over Danish Quantum community. Fx gennem afholdelse af events for virksomheder, der kan give eksponering til området"
	"Derudover skal vi arbejde målrettet for at de store tech-virksomheder lægger og fastholder deres udviklingscentre for kvanteteknologi i Danmark"
<b>KPMG New Tech Denmark A/S</b>	"Kunne man fra regeringens side lave krav til virksomheder om at gøre sig klar til kvante?"
<b>Cryptomathic A/S</b>	Støtte til forskningen og deltagelse i EU-programmer
<b>Danske Bank</b>	"information skal gå begge veje. ERST kan fungere som information hub"
<b>TDC Net</b>	"Det kunne hjælpe hvis myndigheder siger, at de kun vil sende data, der er kvantesikkert"
<b>EnergiNet</b>	"Det er vigtigt at fremme vækstlaget på det digitale på energiområde". "Broen fra forskningen til virksomhederne"



Langelinie Allé 17  
2100 København Ø

T: 3529 1000  
@: [erst@erst.dk](mailto:erst@erst.dk)  
W: [erhvervsstyrelsen.dk](http://erhvervsstyrelsen.dk)