



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

KVANTETEKNOLOGI I DANMARK

Fremtiden er kvanteteknologi
– hvordan kommer Danmark med?

TEKNOLOGISK UDSYN

EXECUTIVE SUMMARY

Nr. 2 · December 2023

Teknologisk Udsyn giver en oversigt over den seneste udvikling på et teknologifelt med betydning for Danmarks fremtid. Vi giver et indblik i aktørlandskaber og fremtidige tendenser, Danmarks aktuelle position samt anbefalinger til samfundets implementering. Teknologisk Udsyn udgives fire gange om året.

Teknologisk Udsyn Executive Summary
Nr. 2 · December 2023

Udarbejdet af
Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup

Kvanteteknologi i Danmark

Fremtiden er kvanteteknologi

– hvordan kommer Danmark med?

Kvanteteknologi bliver i stigende grad sat på dagsordenen verden over. Det er en teknologi med betydning for Danmarks fremtid. Derfor har Teknologisk Institut i dette Teknologiske Udsyn taget pulsen på, hvad der sker, og hvad der vil ske med kvanteteknologien i vores globale omverden. Vi har kortlagt den forskningsmæssige interesse, den teknologiske udvikling og den kommercielle udvikling internationalt og nationalt. Danmark er godt med, når det gælder forskning, men den helt store værdi i kvanteteknologien ligger hos de virksomheder, som forstår at udnytte mulighederne. Derfor er det nødvendigt med en væsentlig indsats for at give danske virksomheder muligheder for at kende teknologien og allerede nu forberede sig på en ny kvanteteknologisk virkelighed.

Kvanteteknologi har de seneste 5-10 år udviklet sig til et helt centralt forskningsområde med stor aktivitet i USA, Asien og Europa. Det er imidlertid ikke en ny teknologi. Første generations kvanteteknologi omfatter bl.a. transistoren og laseren, der

blev opfundet for 50-75 år siden. Rapporten her handler om anden generations kvanteteknologier, som i de kommende år forventes at åbne op for en ny og anderledes verden. Betegnelsen anden generations kvanteteknologi dækker over udnyttelsen af fænomener som superposition og entanglement, som for mange år siden blev beskrevet teoretisk, men som man først er blevet i stand til at udnytte i de seneste 10-15 år.

Dansk forskning i verdensklasse

Teknologisk Instituts bibliometriske analyser af verdens forskningsaktivitet viser, at antallet af forskningspublikationer i kvanteteknologi er stigende, og fortsætter udviklingen frem mod 2030, vil aktiviteten sandsynligvis blive fordoblet, hvis ikke firedoblet. Mere end 500 forskningsinstitutioner verden over er involveret i udvikling af kvanteteknologi. Dansk forskning klarer sig godt internationalt, når vi tager højde for Danmarks størrelse, godt hjulpet af både offentlige og private aktører. Danmark rangerer som nr. 3 globalt målt på artikler

	Status	Forslag til næste skridt
3	Science Dansk forskning på tredjepladsen målt pr. capita i OECD	Stærkere involvering af brugervirksomheder
14	Teknologi Dansk patentering som nummer 14 målt pr. capita i OECD	Adgang til rådgivning, test og demonstration
6	Marked Danske kvanteinvesteringer på sjettepladsen målt pr. capita i OECD	Udvikling af den kompetencemæssige base

om kvanteteknologi per capita. I takt med teknologiens udvikling vil den internationale interesse stige, så Danmark skal fortsætte med at investere kraftigt, hvis den danske forskning skal bevare sin internationale førerposition.

USA i front på teknologiudvikling

Den teknologiske udvikling omsættes ofte i patenter, hvilket betyder, at udviklingen i patenter er en god indikator for både innovation og for interessen i kommercialisering af teknologien. Analysen af kvanteteknologi er gennemført med tech-mining af internationale patentdatabaser. Analysen viser en stigning i antallet af ansøgte patenter, som på 20 år er 10-15-doblet. En lineær fremskrivning viser, at der kan blive udtaget godt 5.000 patenter vedrørende kvanteteknologi i 2025, men udviklingen kan meget vel vise sig at være eksponentiel med de mange investeringer, vi kan se, der finder sted. Investeringer og innovationsaktiviteter er koncentreret omkring Kina, USA og Europa, samt i mindre grad i Indien, Israel, Singapore og Australien. Der er kun få patenter udtaget i Danmark, men måler man pr. indbygger, så er de danske patenter lige akkurat synlige i international sammenhæng.

Stater og private investorer

Danmark investerer i kvanteteknologi, og målt i kroner pr. indbygger ligger statens strategiske investeringer på en global sjetteplads. Men landene er

vanskeligere at sammenligne på de samlede investeringer, fordi også private investorer, virksomheder, private fonde og andre offentlige puljer investerer i kvanteteknologi. I Danmark understøttes kvanteteknologi også af offentlige puljer som Innovationsfonden og Grundforskningsfonden og i høj grad af private fonde, heraf Novo Nordisk Fonden med en investering på 1,5 mia. danske kroner. Fra 2017 og frem er der samlet gennemført og planlagt investeringer i kvanteteknologi på 3,9 mia. kroner.

Analysen af det internationale marked er udført ved at kombinere databaser over virksomheder og patentdata. På denne måde har Teknologisk Institut identificeret næsten 1.200 virksomheder verden over, som arbejder med kvanteteknologi. Der er en overvægt af meget store virksomheder, og i front ligger globale giganter som IBM, Google, Amazon, Huawei og Baidu. I Danmark er der omkring to håndfulde virksomheder, som primært udspringer af universitetsmiljøet. De vækstperspektiver, der knytter sig til kvanteteknologien, er ganske fantastiske, selvom markedsanalytikerne langt fra er enige om de konkrete vækstrater.

Slutbrugerne vinder til sidst

Den største værdi af kvanteteknologien forventes på sigt at ligge hos slutbrugerne i både det offentlige og det private. "På sigt" vil formentlig sige fra omkring 2035-2045. Et tegn på at markedet stadig

Kvanteteknologi kort fortalt

Kvanteteknologi bruger kvantemekanikkens love til at forbedre områder som telekommunikation, sundhedsvæsenet og finansielle tjenester. Teknologien kan opdeles i kvantesensorer, kvantekommunikation og kvantecomputing.

Kvantesensorer er meget nøjagtige og kan registrere små ændringer i fx tid, temperatur eller tyngdekraft. De kan bruges til fx navigation uden GPS, medicinsk billeddannelse eller til varsler om jordskælv. De første kvantesensorer er allerede på markedet.

Kvantekommunikation overfører information på en sikker måde, der gør det meget svært

for andre at aflytte eller få adgang til den. Det testes i dag, og kommerciel udnyttelse forventes inden for 5-10 år.

Kvantecomputing gør det muligt at løse problemer, som almindelige computere ikke kan løse. Det kan hjælpe med at udvikle fx nye materialer eller ny medicin. Første generation af kvantecomputere er tilgængelige i dag, men der er stadig meget forskning, der skal udføres. Der kan gå 10-20 år før kvantecomputere løser problemer, som ikke kan løses med traditionelle computere.

er under udvikling, er, at det primært er aktører inden for teknologiudvikling, dvs. forskning og udvikling af software og hardware, der er aktive. Der er langt færre virksomheder, der rent faktisk udnytter teknologien som slutbrugere.

Kommercialisering af kvanteteknologi ligger i overvejende grad hos globale aktører, så en stor del af teknologileverandørerne vil være udenlandske, primært amerikanske og kinesiske,¹ selvom danske 'startups' og virksomheder kan gøre sig gældende på specialiserede områder. En væsentlig indsigt fra analysen er, at ca. 80 % af værditilvæksten på sigt vil forekomme hos virksomheder, som bruger kvanteteknologi i deres forretning (slutbrugere), mens ca. 20 % vil ligge hos teknologileverandørerne.

National strategi med blik for slutbrugere

I den nationale strategi for kvanteteknologi (Regeringen, 2023) er det primære fokus på forskning og innovation (del 1) og sekundært på at kommercialisere kvanteteknologi (del 2). Ved hjælp af 'use cases' og demonstrationsprojekter skal afstanden mellem de virksomheder, der udbyder nye kvanteteknologiske løsninger, og virksomheder, som kan opnå gevinster ved at tage løsningerne i brug, gøres kortere.

Forskningen spiller selvfølgelig den primære rolle i udvikling af kvanteteknologien, men der er også god grund til en tidlig involvering af slutbrugere (private og offentlige virksomheder) og rådgivere i processen, så flest mulige anvendelser bliver identificeret tidligst muligt og det største markedspotentiale kan realiseres.

I den nationale strategi for kvanteteknologi er der flere aktiviteter, der understøtter dette (Regeringen, 2023), fx initiativet om at aktivere de danske styrkepositioner. Initiativet lægger op til, at virksomhederne (slutbrugere) gennem demonstrationsprojekter og 'use cases' skal få øget kendskab til kvanteteknologiens anvendelsesmuligheder.

Behov for stærk, vidensbaseret infrastruktur

Indsatsen overfor virksomhederne kan potentielt styrkes væsentligt, så en langt bredere kreds af slutbrugere bliver aktiveret. Men det er ikke let at få engageret slutbrugere, da de reelle fordele ved at anvende de tilgængelige NISQ kvantecomputere

er meget begrænsede, og fordelene for de fleste virksomheder ligger flere år ude i fremtiden. Her kan såkaldt 'quantum inspired computing' med fordel bringes i spil, et område hvor der allerede findes en række danske leverandører med et højt internationalt niveau.

Når den primære samfundsmæssige værdi af kvanteteknologien på sigt ligger hos slutbrugere, så er det vigtigt at give virksomheder og offentlige institutioner langt bedre betingelser for at kunne få adgang til kvanteteknologien. Et tæt samarbejde med slutbrugere vil kunne bidrage til at identificere hvilke anvendelser, der har størst kommercielt potentiale. Der skal med andre ord anvendes en kombination af 'technology push' og 'market pull' – for at optimere kvanteteknologiens værdiskabelse.

De sektorer der kan få gavn af kvanteteknologien, fx virksomheder inden for bioteknologi, farma, materialeteknologi, fødevarer og landbrug, forsikring og finans, bør allerede nu begynde at undersøge mulighederne og forberede sig på, hvordan kvanteteknologi kan forbedre deres forretning. Det har de færreste virksomheder mulighed for på egen hånd, og slet ikke SMV-segmentet, da teknologien er ny, og kompetencebasen endnu er meget snæver.

Hvis en bredere kreds af danske virksomheder hurtigt skal bringes i stand til at udnytte de nye muligheder, kræver det et nært samarbejde mellem teknologirådgivere og/eller leverandører på den ene side og virksomhederne på den anden. Mellemløbet mellem forskning og slutbrugere er i dag ikke stærkt udviklet inden for dette felt, så et oplagt indsatsområde er at opbygge en stærk vidensbaseret infrastruktur, som på den ene side har kompetence til at forstå og anvende teknologien i praksis, og på den anden side er tæt på virksomhederne og deres behov.

I innovationspolitisk sammenhæng kan denne tilgang udfoldes ved, at enkelte virksomheder eller grupper af forskere og slutbrugere inden for danske styrkepositioner får i opdrag at udvikle kvanteteknologi frem mod kommerciel nyttiggørelse, så langt det er muligt inden for en præ-kompetitiv ramme. Sådanne udviklingsprojekter skal have adgang til såvel teknisk som kommerciel rådgivning, bl.a. ved

¹ Med den seneste udvikling i forholdet mellem Kina og USA er protektionismen af økonomiske og sikkerhedsmæssige grunde stigende, og af den grund er det ikke sandsynligt, at Kina bliver storleverandør af kvanteteknologi til vesten foreløbig.

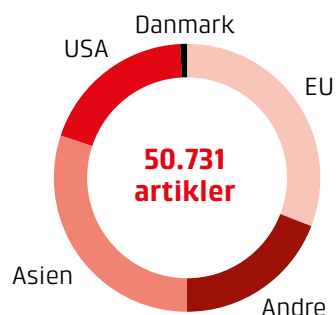
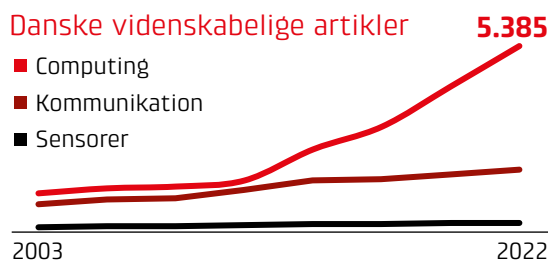
at kunne trække på innovations- og teknologicentre samt forskere. Det vil være af afgørende værdi at inddrage internationale erfaringer, da udviklingen inden for kvanteteknologi foregår globalt. Kom-

petenceudvikling og efteruddannelse er af vital betydning for både mellemløbet af rådgivere og for slutbrugerne. Derfor bør efter- og videreuddannelses tilbud gøres tilgængelige.

Danmark har en stærk position allerede i dag – både inden for forskning, udvikling og markedsinvesteringer

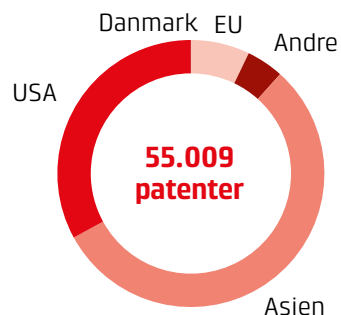
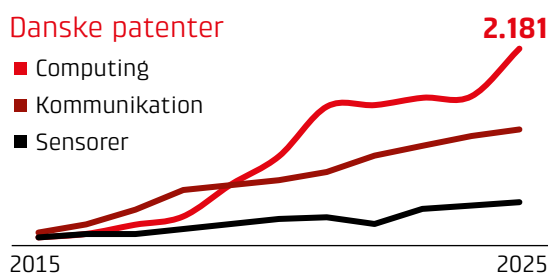
Science

0,8 artikler pr. 10.000 indbyggere i Danmark.
Dansk forskning er på 3. pladsen i OECD.



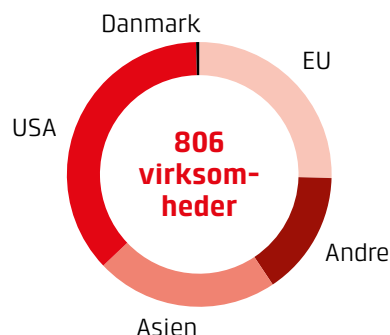
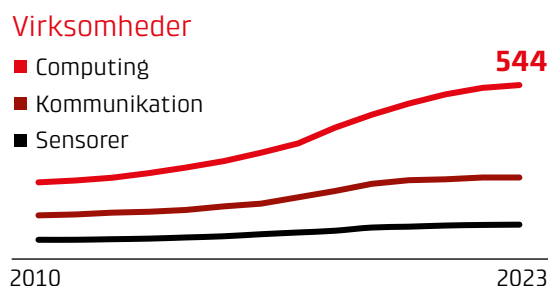
Teknologi

2,5 patenter pr. million indbyggere i DK.
Dansk innovation er på 14. pladsen i OECD.



Marked

205 kroner investeret pr. indbygger i Danmark.
Dansk investering pr. capita er på en 6. plads i OECD.



Kilde: Scopus + Worldbank

På baggrund af analysen foreslås det at styrke den nationale indsats for kvanteteknologi yderligere, når det gælder tidlig udnyttelse af de teknologiske muligheder:

Stærkere involvering af brugervirksomhederne

Virksomheder skal i højere grad have mulighed for at undersøge mulige anvendelser af kvanteteknologi, herunder en begyndende forberedelse af fx algoritmer, test og demonstration.

Adgang til rådgivning, test og demonstration af kvanteteknologi

Virksomheder skal have adgang til en innovationsinfrastruktur med en forståelse for både den teknologiske udvikling og virksomhedernes praktiske, forretningsmæssige virkelighed. Desuden skal de have mulighed for at teste de nye kvanteløsninger. Det kræver opbygning af infrastrukturen.

Udvikling af den kompetencemæssige base gennem uddannelse og efteruddannelse

Kvanteteknologisk viden og kompetencer til at udnytte teknologien må ikke kun være forankret i forskning, men også i den videnskabelige infrastruktur, herunder testfaciliteter, der er tæt på virksomhederne, samt naturligtvis i virksomhederne selv.

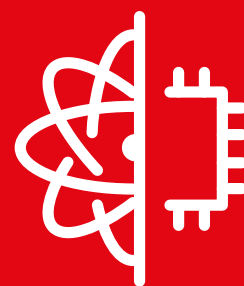


**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Teknologisk Institut er et uafhængigt og almennyttigt forsknings- og udviklingsinstitut, der er godkendt som GTS-Institut af Uddannelses- og Forskningsministeren.

Instituttet har siden 1906 arbejdet for at fremme udnyttelsen af teknologiske fremskridt til gavn for erhvervsliv og samfund gennem udvikling, rådgivning og formidling.

Vi opfylder dette formål ved at udvikle ny viden gennem forsknings- og udviklingsaktiviteter, som omsættes til teknologiske serviceydelser og stilles til rådighed på markedsvilkår.



www.teknologisk.dk