



Sveriges ambassad

Washington

Innovations- och forskningskontoret

Ossian Johnsson

Jenny Majdyar

Maria Brogren

USA: satsningar på kvantteknik

En rapport från innovations- och forskningskontoret i Washington

Mars 2023

USA:s satsningar på kvantteknik

Detta är en översiktsrapport från Innovations- och forskningskontoret vid Sveriges ambassad i Washington, D.C. (OSI Washington) som beskriver utvecklingen i USA inom kvantområdet och belyser möjligheter till ökat bilateralt samarbete. De slutsatser och rekommendationer som läggs fram i denna rapport är OSI Washingtons.

Innehåll

Inledning.....	2
Utvecklingen inom kvantteknik i USA.....	3
USA:s nationella kvantstrategi	4
Ytterligare tillskott av federala medel till FoU inom kvantteknik.....	8
Privata och regionala satsningar på kvantteknik.....	9
Kommentarer från OSI Washington.....	9
Faktaruta: Mer om kvantteknik	11

Inledning

I april 2022 undertecknade USA och Sverige ett gemensamt uttalande ([Joint Statement](#)) om samarbete inom kvantinformationsvetenskap och kvantteknik (Quantum Information Science and Technology, QIST) i vilket det anges att Sverige och USA ska samarbeta för att skynda på avgörande framsteg inom området. Behovet av omfattande FoU-satsningar lyfts fram. USA har skrivit liknande avtal med tio andra länder: Australien, Danmark, Finland, Frankrike, Japan, Kanada, Nederländerna, Schweiz, Storbritannien och Tyskland.

Med anledning av det gemensamma uttalandet och för att bidra till förståelsen för hur Sverige kan stärka samarbetet med USA inom kvantområdet följer här en överblick över satsningar i USA. Det kan konstateras att USA satsar brett på området – på federal nivå, inom akademien samt i näringslivet. USA har ledande laboratorier, universitet och företag runt om i landet som satsar på att utveckla tekniken. Det har tillförts omfattande federala medel till kvant genom framför allt *National Quantum Initiative Act*, *Inflation Reduction Act* och *CHIPS and Science Act*. Ledande forskare i USA menar att det finns tillräckligt med resurser för att utveckla tekniken, men att kompetens och förståelse för tillämpningar måste utvecklas parallellt för att tekniken ska kunna nå sin fulla potential. Det finns en vilja i USA att samarbeta med utvalda, ”likasinnade” länder för att bättre stå sig i konkurrensen med Kina. Sverige har gott anseende

som samarbetspartner, såväl generellt som inom kvantområdet, och *Wallenberg Centre for Quantum Technology* WAQT är välkänt för amerikanska forskare.

Figur 1 beskriver relationen mellan olika begrepp som används i denna rapport. Figuren baseras till stor del på National Quantum Initiatives indelning. I rapporten används ibland begreppet ”kvant” för hela området kvantinformationsvetenskap och kvantteknologi. En faktaruta med en kort beskrivning av kvantområdet och vissa begrepp finns sist i rapporten.



Figur 1: Relationen mellan olika begrepp inom kvant.

Utvecklingen inom kvantteknik i USA

Till grund för utvecklingen inom kvantområdet ligger kvantmekaniken som utvecklades för 120 år sedan av välkända forskare såsom Erwin Schrödinger, Albert Einstein och Max Planck.

Kvantdatorns historia inleddes på 80-talet i USA med Richard Feynmans föreläsningar om de potentiella fördelarna med beräkningar genom kvantsystem. Sedan dess har forskning och experiment lett till flera framgångar i fältet. År 1994 presenterade Peter Shor en kvantalgoritm som effektivt kan faktorisera heltal. År 2001 publicerade IBM och Stanford University den första implementeringen av Shors algoritm, där talet 15 faktoriseras till sina primfaktorer på en 7-qubit-processor.

Den s.k. ”första kvantrevolutionen” banade väg för innovationer inom exempelvis navigation (GPS), bilddiagnostik (MRI), mikroelektronik, telekommunikation m.m. Nu pågår det som kallas den ”andra kvantrevolutionen”, där forskare söker kontrollera och manipulera kvanteffekter för att återskapa en viss process eller ett specifikt tillstånd.

År 2022 uppmärksammades kvanttekniken globalt då John Clauser (USA), Alain Aspect (Frankrike) och Anton Zeilinger (Österrike) tilldelades Nobelpriset i fysik för sin forskning inom området.

USA:s nationella kvantstrategi

USA har sedan 2018 en [nationell strategi för kvantinformationsvetenskap](#) som togs fram på initiativ av Vita husets kontor för forskning- och teknikpolicy (OSTP). Strategin är en tioårsplan innehållande visioner och mål för att främja forskning och utveckling inom området i USA. Strategin utarbetades av USA:s nationella forsknings- och teknikråd (NSTC) samt NSTC:s underkommitté för kvantinformationsvetenskap (SCQIS), med syftet att främja framtidens industrier och säkerställa USA:s ledarskap inom området. Den nationella säkerheten samt strävan att säkra framtidens arbetskraft och behålla sitt globala teknikledarskap i konkurrensen med Kina var bakomliggande faktorer till att strategin togs fram.

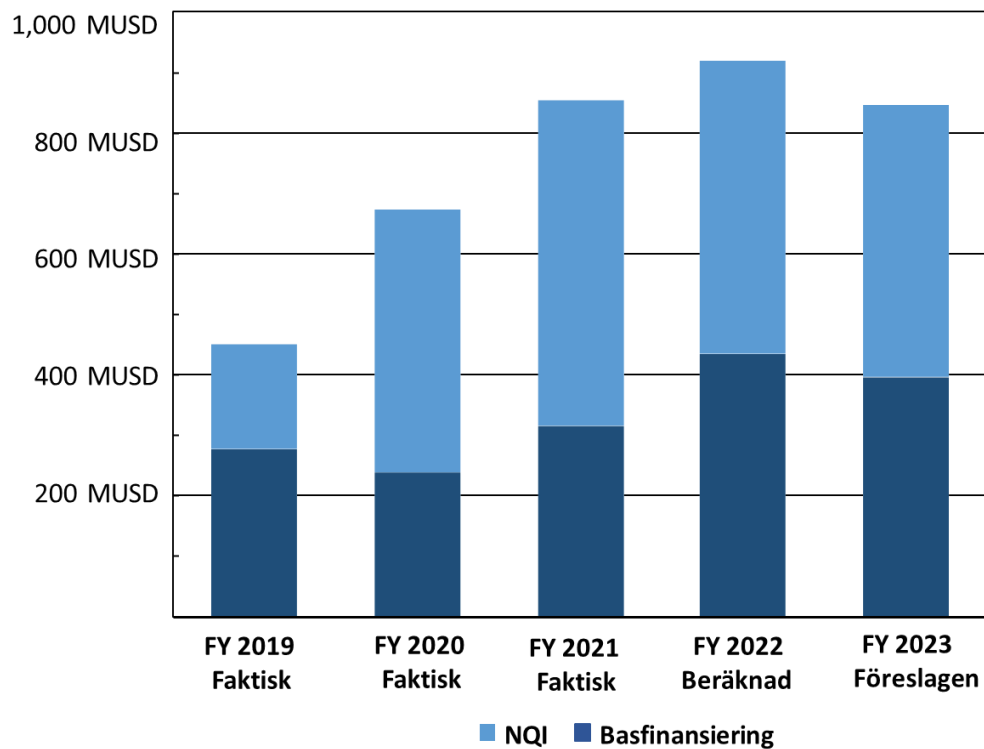
Strategin sträcker sig över sex policyområden: Vetenskap, arbetskraft, industri, infrastruktur, ekonomisk säkerhet och internationellt samarbete. Den ger uttryck för tre övergripande mål:

- *Att utveckla vetenskapen och kartlägga* vilka tillämpningar och inom vilka tidsramar som kvant kommer att gynna samhället samt vilka hinder som måste överbryggas.
- *Att förbättra konkurrenskraften* genom att påskynda teknikutvecklingen inom kvant mot praktisk tillämpning och genom att samarbeta med internationella partners, samtidigt som den nationella säkerheten ska skyddas.
- *Att bidra till fler arbetstillfällen inom området* genom att öka förståelsen för arbetsmarknadens behov, introducera kvant till en bredare publik och på så sätt bidra till nya karriärmöjligheter, fylla luckor inom utbildningssystemet genom att fokusera på ökad jämlikhet (equity) inom fältet.

År 2018 antog den amerikanska kongressen [National Quantum Initiative Act](#) med brett partiöverskridande stöd. Lagen syftar till att stärka amerikanskt ledarskap inom kvant genom att avsätta och samordna statliga FoU resurser, utveckla den nationella kompetensen, gynna multidisciplinärt arbete samt stötta utbyggnaden av test- och utbildningscenter. Även samarbetet mellan den federala nivån, industrin och akademien ska stärkas. National Photonics Initiative, en allians av forskningsinstitut och andra organisationer inom industrin och akademien var pådrivande för lagstiftningen.

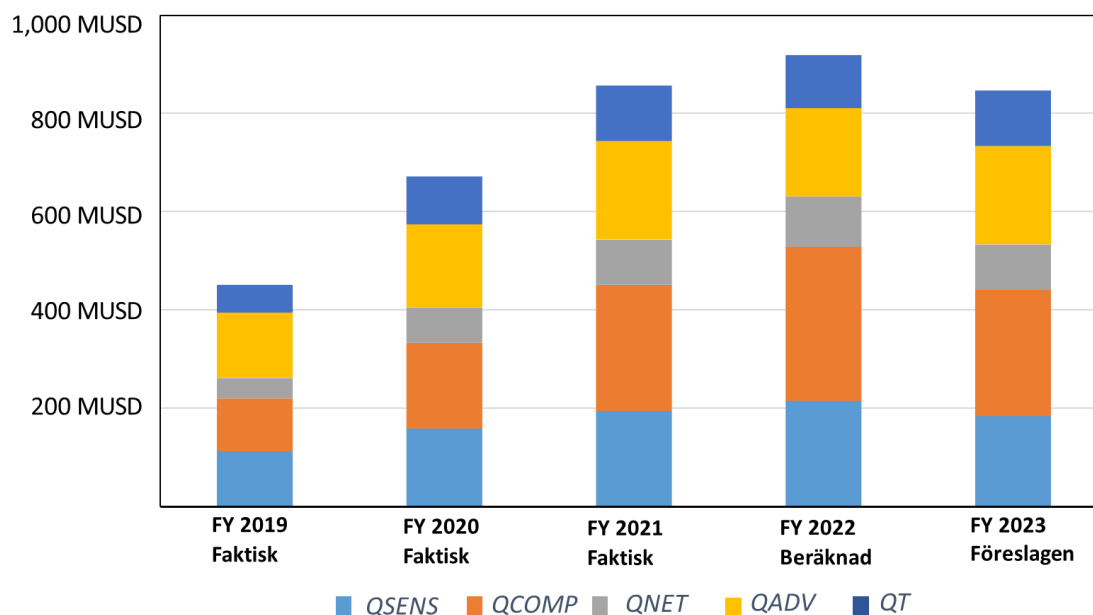
Genom National Quantum Initiative Act inrättades det federala programmet National Quantum Initiative (NQI), för att påskynda forskning och utveckling inom kvantområdet i syfte att främja

USA:s ”ekonomiska och nationella säkerhet”. Genom initiativet finansieras FoU-program inom flera federala myndigheter, varav de mest omfattande bedrivs av National Institute of Standards and Technology (NIST), National Science Foundation (NSF), Energidepartementet (DOE) och NASA. Det samordnande kontoret National Quantum Coordination Office ([NQCO](#)) ligger inom Vita husets kontor för forskning- och teknikpolicy (OSTP). Genom NQI satsar USA 1,2 miljarder dollar på QIST över en femårsperiod, se figur 2 nedan. Finansieringen går till de [myndigheter](#), projekt, forskningscentra och institutioner som är anslutna till initiativet.



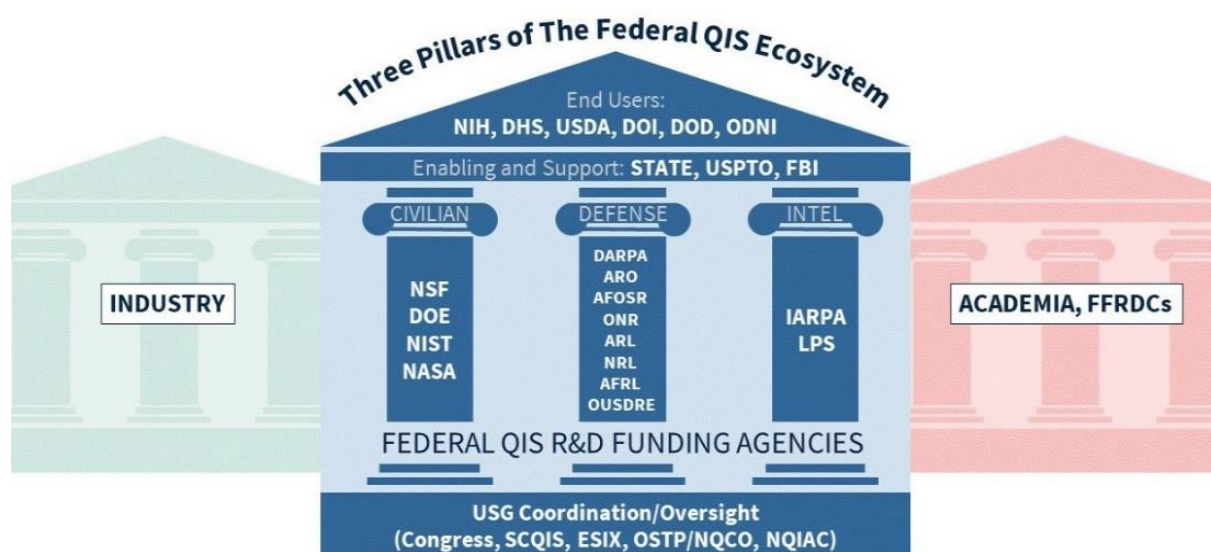
Figur 2: USA:s federala FoU-budgetar för kvant sedan NQI-lagen antogs. Staplarna representerar den totala budgeten för varje budgetår. FY 2019-FY 2021 är faktiska utgifter, FY 2022 beräknade utgifter och FY 2023 begärd budget. Den del av varje stapel som är markerad med "NQI" är finansiering som tilldelats enligt NQI Act. Denna finansiering ligger ovanpå budgetarna för grundläggande FoU inom kvant.

Figur 3 nedan visar budgetfördelning över de fem programområdena Quantum Sensing and Metrology (QSENS), Quantum Computing (QCOMP), Quantum Networking (QNET), QIS for Advancing Fundamental Science (QADV) och Quantum Technology (QT).



Figur 3: USA:s budgetanslag för forskning och utveckling inom QIS per programområde för FY 2019 - FY 2021 faktiska utgifter, FY 2022 beräknade utgifter och FY 2023 begärda budgetar.

De federala FoU-finansieringsorganen som stöder kvant-ekosystemet kan delas in under tre pelare: civilt, militärt och underrättelsetjänst ("intel"), enligt figur 4.



Figur 4: Illustration av ekosystemet för kvant i USA.

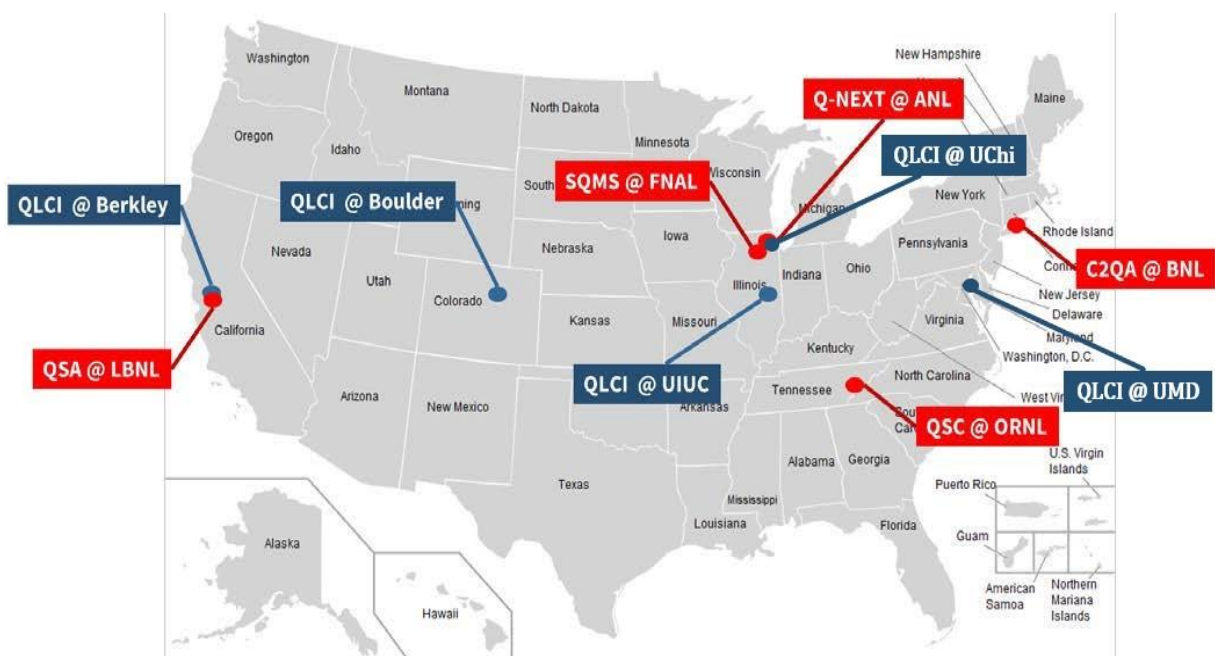
Inom den federala regeringen kommer stöd till kvantekosystemet också från Federal Bureau of Investigation (FBI), Patent and Trademark Office (USPTO) och utrikesdepartementet (DOS) samt potentiella slutanvändare som National Institute of Health (NIH), Homeland Security (DHS), Department of Agriculture (USDA), Department of the Interior (DOI), Department of Defense (DOD) och Office of the Director of National Intelligence (ODNI).

Tillstånd, samordning och tillsyn tillhandahålls av kongressens underkommitté för kvantinformationsvetenskap (SCQIS), Executive Search Information Exchange (ESIX), Office of Science and Technology Policy (OSTP), the National Quantum Coordination Office (NQCO) och National Quantum Initiative Advisory Committee (NQIAC).

Trots att de visas som mindre pelare på bilden ovan är industrin, akademien och de nationella forskningslaboratorierna mycket viktiga för forskning och utveckling inom kvant. Sedan 2020 finns fem nationella kvantforskningscentra, vilka finansieras av DOE:s forskningskontor ([Office of Science](#)):

- [Co-design Center for Quantum Advantage](#) (C2QA), leds av Brookhaven National Laboratory
- [Q-NEXT](#), leds av Argonne National Laboratory
- [Quantum Science Center](#), leds av Oak Ridge National Laboratory
- [Quantum Systems Accelerator](#), leds av Lawrence Berkeley National Laboratory
- [The Superconducting Quantum Materials and Systems Center](#) leds av Fermi National Accelerator Laboratory

I figur 4 visas (i rött) var i USA de fem centren är belägna. Centren kopplar ihop de nationella forskningslaboratorierna med interdisciplinära team bestående av experter från universitet och näringsliv. Tillsammans utgör dessa ett nationellt ekosystem för kvantforskning bestående av forskare vid cirka 70 institutioner runt om i USA.



Figur 4: Tio viktiga center för kvantforskning i USA.

Varje center bedriver självständig forskning inom sina respektive specialområden. Därutöver finns interdisciplinära team vid varje center som samarbetar sinsemellan för att undersöka vad som möjliggör och begränsar olika kvanttekniker och vilka verktyg som behöver utvecklas. Dessutom kan laboratorie- och universitetsforskare utnyttja den teknik som utvecklats av deras industripartners, t.ex. testbäddar och simuleringsverktyg. Med hjälp av sina respektive nätverk utvecklar varje center kanaler för kommersialisering för att så småningom göra kvantteknik tillgänglig för allmänheten.

Utöver DOE finansierar NSF, på uppdrag av NQI, fem ”Quantum Leap Challenge Institutes”. Dessa är Q-SEnSE vid University of Colorado Boulder, HQAN vid University of Illinois Urbana-Champaign, CIQC vid UC Berkeley, QuBBE vid University of Chicago samt RQS vid University of Maryland (markerade med blått i figur 4). Dessa är stora tvärvetenskapliga forskningsprojekt som syftar till att driva utvecklingen inom kvant.

Även försvarsdepartementet (DOD) har ett stort intresse för utvecklingen inom kvant. Forskning bedrivs särskilt inom kvantkommunikation, kvantdatorer och kvantsensorer. Med hjälp av kvantnätverk kan kommunikation krypteras och avkrypteras effektivare än med dagens teknik. Kvantsensorer skulle kunna användas till exempel för spårning av missiler och flygplan samt för avancerade gyro- och accelerometrar. DOD:s FoU bedrivs av departementets egna forskningslaboratorier och ingenjörsavdelningar samt genom forskningsbyrån DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency). Både flygvapnet och flottan har inrättat särskilda forskningscenter för kvant och har fått tillstånd att samarbeta med lämpliga aktörer inom den offentliga och privata sektorn för att främja kvantforskningen. År 2021 inrättade DOD ett ‘Center of Excellence in Advanced Quantum Sensing’ med finansiering om 7,5 miljoner USD över fem år vid Delaware State University.

National Quantum Initiative har identifierat tillämpningar inom området *kvantsensorer* som ett konkret mål på kort sikt. Kvantsensorer har potential att erbjuda bättre stabilitet, känslighet och precision än traditionell teknik. Förutsättningar, strategier och tillvägagångssätt har kartlagts i en av NQI:s [rapporter](#) från 2022.

Ytterligare tillskott av federala medel till FoU inom kvantteknik

CHIPS and Science Act från 2022 kompletterar NQIA med en rad kvantspecifika program som finansieras med 153 miljoner USD per år från 2023 till 2027. Programmen genomförs under ledning av DOE, NSF och NIST och syftar till att hitta tillämpningsområden för kvantteknik, utveckla kritisk infrastruktur och standardisering för att möjliggöra avancerad FoU på området samt integrera kvant i läroplanen för STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) på alla utbildningsnivåer. Att utveckla en diversifierad inhemsk arbetskraft är prioriterat. Även i *Inflation Reduction Act* från 2022 har medel avsatts för kvant.

De mest omfattande nya investeringarna görs inom DOE:s program för forskning och utveckling av infrastruktur för kvantnätverk. Kvantnätverk är en potentiell kommersiell

tillämpning av kvantteknik som utnyttjar kvantfenomenen *sammanflätning* och *superposition* för att säkert överföra information via en enda ljuspartikel. Investeringarna avser att utveckla och bygga ut nödvändig infrastruktur i form av teknik och expertis som krävs för nätverksutvecklingen. Lawrence Berkeley National Lab, Fermi National Accelerator Lab samt Brookhaven National Lab har samtliga program för detta.

Privata och regionala satsningar på kvantteknik

Universitet och forskningsinstitut gör betydande satsningar inom kvant i USA. Harvard Quantum Initiative är ett exempel, där syftet är att hjälpa forskare och ingenjörer att utforska nya sätt att omvandla kvantteori till användbara system och produkter. Även MIT är bland de världsledande universiteten inom kvant. MIT-forskare har utvecklat en arkitektur för kvantdatorer som kan möjliggöra expanderbar kommunikation med hög tillförlitlighet mellan kvantprocessorer.

I näringslivet är amerikanska IBM världsledande på kvantdatorer. Bolaget har över 1300 patent på området. Under 2023 förväntas IBM lansera kvantdatorn Condor som kommer att vara världens första universella kvantdator med mer än 1 000 qubits. Google har sedan 2021 ett Quantum AI Campus i Santa Barbara där de strävar efter att skapa världens första felkorrigerade kvantdator senast 2029. Genom Google Quantum Computing Service erbjuds kunder och industrin att utföra beräkningar på Googles hårdvara i Santa Barbara. Rigetti är ett annat Kalifornien-baserat kvantteknikföretag som erbjuder kunder att programmera kvantalgoritmer genom en molntjänst. Även Intel, Microsoft och Amazon gör omfattande satsningar inom kvant.

Det finns flera regionala kvanthubbar i USA. Ett exempel är Chicago Quantum Exchange som är ett samarbete mellan ett antal universitet och nationella laboratorier vars syfte är att koppla samman kompetens, forskningsanläggningar och industripartners för att främja utvecklingen inom kvant. Ett annat exempel är Connected DMV:s satsning ”Potomac Quantum Innovation Center” vars ambition är att göra DMV-området (Washington D.C.-Maryland-Virginia) till ett center för nästa generations ledarskap, innovation och ekonomiska utveckling inom kvant.

Kommentarer från OSI Washington

I det gemensamma uttalandet mellan Sverige och USA om samarbete inom kvant betonas vikten av internationella partnerskap. Mot bakgrund av USA:s stora satsningar på kvant är det uppenbart att det är omöjligt för Sverige som enskilt land, och sannolikt även för EU gemensamt, att matcha de federala och privata resurser som tillgängliggjorts för forskning och innovation inom kvant i USA. För att Sverige och Europa ska vara relevanta i utvecklingen kommer internationellt samarbete att vara av största vikt, och med tanke på det geopolitiska läget ligger det nära till hands att undersöka möjligheter för ökat transatlantiskt

samarbete. Utöver samarbete med USA (och Kanada) kan det – för att kraftsamla – vara relevant att samarbeta med de övriga länder som USA har bilaterala avtal med.

Flera länder, inklusive ungefär hälften av de 12 som nämns i denna rapport, har en nationell kvantstrategi. I Sverige saknas idag en strategi men det finns ett relativt starkt och växande ekosystem och infrastruktur för forskning och innovation inom kvant. Särskilt vad gäller kvantdatorer ligger Sverige i framkant. Det svenska ekosystemet inom kvantområdet kan beskrivas som universitetsdrivet, där filantropisk finansiering från Wallenbergstiftelsen genom *Wallenberg Centre for Quantum Technology* (WACQT) driver grundforskning med förankring i universitet och forskningslaboratorier. Kring denna satsning finns innovativa startups. Ekosystemet karaktäriseras av jämförelsevis små offentliga investeringar och liten offentlig samordning, även om det offentliga engagemanget har ökat de senaste åren genom framför allt Vinnova.

Om Sverige väljer att utarbeta och förankra en nationell kvantstrategi bör internationellt samarbete vara en central del. WACQT har idag internationell uppkoppling mot omvärlden framförallt genom ett stort EU-projekt men det finns också samarbete med USA. Vad OSI Washington erfar finns intresse från bland annat Berkeley Lab att öka samarbetet med WACQT. Det bör även finnas stora möjligheter till ökat samarbete med Fermilab/Chicago Quantum Exchange med flera.

Utvecklingen inom kvantområdet bygger på genombrott inom flera olika forskningsområden, inklusive grundläggande materialvetenskap. En både fördjupad och breddad kunskapsbas inom kvant Sverige bör därför utvecklas. Här kan riktade internationella partnerskap för olika områden vara en möjlighet. För samarbete med aktörer i USA kan plattformen SIREUS utnyttjas för forskningssamarbete och forskarmobilitet mellan svenska och amerikanska universitet.

Ett *Implementing Arrangement* inom energiforskning mellan DOE och Sveriges utbildningsdepartement är färdigförhandlat (men väntar på signering) och kommer ge Sverige ökad tillgång till DOE:s nationella lab. Sverige bör utnyttja detta tillfälle att stärka vår närvaro vid de nationella kvantcentren som listats ovan.

Det är även av vikt att se över hur Sverige redan i grundskolan kan introducera grundläggande kunskap om kvant. I USA talas det om quantum literacy, och det finns exempel på hur program utvecklas för undervisning om kvant redan i tidiga skolåldrar.

Faktaruta: Mer om kvantteknik

Kvantteknik baseras på kvantmekaniken, ett delområde inom fysiken som studerar materians och energins beteende på en mycket liten skala, mindre än en atom, då andra fysikaliska lagar behöver användas.

En tillämpning av kvantteknik är i kvantdatorer. Till skillnad från klassisk databehandling, som använder bitar som antingen är 0 eller 1, använder kvantdatorer kvantbitar, s.k. qubits. Qubits kan till skillnad från klassiska bitar vara en kombination av 0 och 1, en s.k. ”superposition”. Kvantdatorer tillåter en mer flytande bild än traditionella datorer och avspeglar verkligheten på ett bättre sätt. Detta gör att kvantdatorer kan utföra vissa typer av beräkningar mycket snabbare än klassiska datorer.

Betydelsen av kvantdatorer ligger i deras potential att lösa problem som ligger utanför klassiska datorers räckvidd. Kvantdatorer kan till exempel användas för att simulera kvantsystem (såsom partiklar och atomer), faktorisera mycket stora tal samt att effektivt söka i stora databaser och för att optimera komplexa processer, såsom hantering av leveranskedjor och finansmodellering.

Kvantdatorer förväntas inte ersätta klassiska datorer inom överskådlig framtid, utan tvärtom anser experter att samspelet med både klassiska datorer och AI kommer ha en viktig roll framöver. Kvantdatorer bör ses som ett viktigt komplement och tillsammans förväntas denna triad av tekniker flytta gränsen för vad som är möjligt inom databehandling och problemlösning. I takt med att framstegen inom klassisk databehandling avtar, förstärks behovet av att integrera kvantdatorer med klassiska system. På så vis kan en hög innovationstakt upprätthållas. Kvantdatorer spås ha en stor betydelse för artificiell intelligens och maskininlärning.

Omfattande samhällsutmaningar såsom klimatförändringarna och pandemihantering innebär ofta att komplexa beräkningsrelaterade problem behöver lösas, för vilket kvantdatorer har stor potential. Andra tillämpningar för kvantteknik är avlyssningssäker kommunikation, hyperkänsliga mätinstrument och skräddarsydda läkemedel.