

A. Indledende oplysning

Indsatsområde	Metrologi for kvanteteknologi
Institut	Dansk Fundamental Metrologi (DFM A/S)
Aktivitetens Titel	Optiske ure
versions nr.	2.1
Aktivitets periode	2026-01-01 til 2027-01-31
Kontaktperson	Jan Hald (jha@dfm.dk)

B. Ændringer fra forrige version

Idnr. For ændring	Beskrivelse af ændring
2.1.1	- Opdatering med arbejdsplan for aktivitetens 2. år

C. Beskrivelse af aktiviteten

1. Mål

Atomurerne er uundværlige for den globale tidssynkronisering og en forudsætning for bl.a. GPS positionsbestemmelse, telekommunikation og internationale finansielle transaktioner. Nøjagtig tid er let tilgængelig fra GPS satellitter, men signalerne er lette at jamme. DFM har i seneste periode etableret en realisering af UTC tidsskalaen i Danmark: UTC(DFM), som sikres international anerkendelse gennem månedlig indrapportering af data til Bureau international des poids et mesures (BIPM). DFM har dog kun ét atomur, og adgangen til nye atomure er udfordret af den geopolitiske situation. En fuldt udbygget redundant tidsinfrastruktur kræver mindst 3 atomure af høj kvalitet.

DFM har i 2024-2026 vist, at den acetylen-stabiliserede laser, som DFM sælger til bl.a. længdemetrologi, også kan bruges som en tidsreference, når den kombineres med en såkaldt optisk frekvenskam. Denne optiske reference opnår bedre performance end DFM's kommercielt indkøbte atomur (brint-maser) for tidsskalaer op til 1000 sekunder. DFM vil fortsat arbejde på at forbedre performance på tidsskalaer udover 1000 s. Herved vil det optiske ur kunne sikre redundans i den danske tidsskala UTC(DFM) og senere bidrage til resiliens i kritisk dansk infrastruktur (bl.a. telecom, finans og energiforsyning) ved at tidssignaler distribueres gennem optiske fibre med høj præcision. Det optiske ur kan desuden have interesse for andre nationale metrologiinstitutter.

Specifikke kompetenceopbyggende mål for 2026:

- Videnhjemtagning gennem projektdeltagelse, samarbejde med virksomheder, besøg ved udenlandske NMI'er samt deltagelse i relevante konference og workshops.
- Identifikation og forståelse af de dominerende støjbidrag i DFM's acetylenstabiliserede laser ved tidsintervaller på 1000 s til 100 000 s.
- Kvantitativ sammenligning af performance for forbedret optisk ur i forhold til brint-maser for tidsskalaer op til 10^6 s.
- Påbegyndt samarbejde med andre nordiske tidslaboratorier omkring nøjagtig tidssynkronisering over internettet ved brug af den såkaldte White Rabbit protokol.

2. Indhold

DFM vil evaluere forskellige løsninger til at reducere temperaturfølsomhed og forbedre langtidss stabilitet for den optiske frekvensreference, hvilket vil inkludere både passive designs, aktiv regulering og alternative reference-absorptionslinjer. DFM vil søge eksterne projektmidler til relaterede projekter, herunder national

fiber-baseret transmission af tidssignaler med høj præcision. Endeligt vil aktiviteter inden for eksisterende projekter støtte op om aktiviteten. Det inkluderer Qubid projektet med AU, NKT Photonics og IonQ omkring udvikling af jod-stabiliserede lasere ved 2.05 μm til anvendelser inden for ion-baserede kvantecomputer. Desuden er DFM partner i de europæiske metrologiprojekter TOCK, som er rettet mod udvikling, karakterisering og sammenligning af transportable ure, samt OCTIS, som er rettet mod udvikling og realisering af en tidsskala baseret på optiske ure.

3. Aktører

Hoveddelen af arbejdsbyrden vil ligge hos DFM's afdelinger "Kvantemetrologi" og "Fotonik". Eksterne partnere er videninstitutioner (danske såvel som udenlandske) og virksomheder, som hovedsagelig er involveret via de eksterne finansierede projekter. Herunder kan nævnes AU, NKT Photonics og IonQ. DFM vil arbejde med nordiske tidslaboratorier omkring distribution af nøjagtig tid via internettet.

Desuden samarbejder DFM med spanske GMV omkring kortlægning af europæiske udbydere af teknologi til atomure og optiske ure med henblik på at reducere den geopolitiske risiko mht. fremtidig adgang til atomure. Dette samarbejde finansieres gennem det Europæiske Rumagentur ESA.

4. Sammenhæng med andre projekter (evt.)

Aktiviteten vil drage fordel af synergi med eksternt finansierede forsknings- og udviklingsprojekter, herunder:

EMPIR/EPM: Transportable optical clocks for key comparisons (TOCK), Optical clocks for improved time scales (OCITS*)

Grand Solutions: Quantum Computing Barium Ion Demonstrator, QBID*).

ESA: Next Generation Ground Reference Clocks for EGNSS

*) angiver at projektet medfinansieres med resultatkontraktmidler.

Herudover vil aktiviteten understøtte de behov for nøjagtig måling af tid og optiske frekvenser/bølgelængder, der kommer fra Quantum Denmark initiativet.

5. Følgegruppe

Der afholdes følgegruppemøder fælles for hele indsatsområdet. Følgegruppen mødes 1-2 gange årligt, men herudover er der bilaterale møder med følgegruppens medlemmer, hvor DFM får input omkring mere specifikke forhold. Følgegruppen er dynamisk og sammensætningen af medlemmer justeres løbende til de aktuelle opgaver under indsatsområdet. Der sikres dog deltagelse fra mindst 2 virksomheder eller brancheforeninger og 2 forskningsgrupper ved danske universiteter.

6. Formidling af resultater

Målgruppen inddrages i videreformidling af resultater gennem fælles publikationer samt ved deling af indlæg på sociale medier. Forskningsresultaterne publiceres i internationale 'peer-reviewed' videnskabelige tidsskrifter og præsenteres ved internationale konferencer. Øvrige vidensspredningsaktiviteter, herunder formidling på nationale seminarer, workshops og deltagelse i faglige netværk og møder, gennemføres i samarbejde med Quantum Denmark initiativet samt aktivitetsplanen "Kvantestandardisering og vidensspredning".