



Indsatsområde (titel): **Teknologiudvikling, implementering og test af Power-to-X og CCUS**

Indsatsområde (nr.): MA1

Indsatsen kort (resumé)

Power-to-X (PtX) og Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) teknologier er afgørende for overgangen til et fossilfrit samfund. PtX muliggør konvertering og lagring af vedvarende energi i grønne brændstoffer til sektorer, der ikke kan elektrificeres direkte. CCUS reducerer CO₂-emissioner og skaber negative emissioner gennem indfangning, lagring eller anvendelse af CO₂. Danske aktører har gjort fremskridt med disse teknologier, men udfordringer som skalering, modning og integration i energisystemet skal løses for at realisere deres fulde potentiale. Dette indsatsområde adresserer disse udfordringer for at accelerere udviklingen og implementeringen af PtX og CCUS. Fokus er på optimering og modning af teknologier gennem udvikling af processer og materialer, demonstration og test, grønne brændsler og e-kemikalier, vandrensning, energiinfrastruktur-optimering samt opskalering og integration i industrien.

1. Målsætninger, nøgleaktiviteter og indikatorer

Visionen er at gøre danske virksomheder til frontløbere inden for PtX og CCUS-teknologier. Ved at kombinere teknologier og værdikæder fra både CCUS og PtX, som illustreret i Figur 1, kan synergieffekter udnyttes, hvilket vil styrke danske virksomheders position og samtidig bidrage til Danmarks mål om uafhængighed af fossile brændstoffer senest i 2050. Kombinationen af brint fra PtX og kulstof fra CCUS reducerer ikke kun CO₂-udledningen men løser samtidig markedets behovet samt fremtidens behov for et fossilneutralt samfund. For at realisere denne vision har indsatsen følgende **målsætninger**: (i) Etablere og skaffe adgang til min. 5 avancerede test- og demonstrations-faciliteter for PtX- og CCUS-teknologier, (ii) Lancere mindst 10 nye teknologiske serviceydelser for materiale- og procesløsninger til produktion, opbevaring og udnyttelse af grønne brændstoffer og e-kemikalier, (iii) Implementere 4 løsninger til energisystemintegration og test af forskellige vandkilder, (iv) Optimere 3 CO₂-fangstteknologier som resulterer i et reduceret energiforbrug på 40%, samt (v) Udvikle og implementere 4 nye løsninger til CO₂-håndtering og -lagring. For at opbygge en robust værdikæde inden for de relevante brancher, både ift. kerneteknologier men også for underleverandører, rådgivere mm., er det nødvendigt at vi har faciliteterne og infrastrukturen til rådighed i et dansk GTS-system. Instituttet vil desuden understøtte universiteter, erhvervsskoler og andre videninstitutioner i forbindelse med forskning, innovation og uddannelse. Arbejdet vil ske i tæt samarbejde med virksomhederne og inddeles i følgende fire **aktivitetsområder**, med tilhørende slutmål og delmål som indikatorer for indsatsens succes:

A1. Materialer, processer, opskalering og nye teknologier til PtX og CCU

Forskning i og udvikling af materialer, processer og karakterisering, der kan anvendes til elektrolyse samt produktion og forbrug af grønne brændsler (ammoniak såvel som kulstofbaserede), syntese af e-kemikalier samt videre bearbejdning af disse (f.eks. plastprodukter). Herunder overfladeløsninger, nye synteseveje og tilpasning til kemisk infrastruktur samt processer til udnyttelse af grønne brændsler. Fokus på opskalering, test og understøtning af opbygning af demonstrationsfaciliteter.



Slutmål A1: adgang til mindst 5 state-of-the-art test- og demonstrationsfaciliteter etableret og 10 avancerede materialeløsninger og procesoptimeringer udviklet.

Delmål A1.1 (år 1-2): Første 2 nye testfaciliteter etableret. **Delmål A1.2** (år 1-3): Første 4 materialeløsninger for effektiv brint- og brændstofproduktion optimeret. **Delmål A1.3** (år 1-4): Udvikling og implementering af 2 nye fremstillingsmetoder til e-kemikalier. **Delmål A1.4** (år 1-4): Udvikling af 2 konkrete løsninger til implementering af grønne brændstoffer i transport, det maritime og industri. **Delmål A1.5** (år 3-4): Mindst 2 af de udviklede teknologier opskaleret til demonstrationsskala.

A2. Forbedring af processer og materialer inden for CCS

Optimering af metoder til CO₂ indfangning og udvikling af nye metoder med forskning i materialer og korrosion ifm. solventbaseret fangst. Pilotanlæg, opbygget under indsatsområdet Energilagring og -konvertering, anvendes og udbygges til test af nye teknologier og accelererede metoder til screening af nøgleparametre, samt til udvikling af metoder til reduktion af emissioner og urenheder fra fangstprocesser. Udvikling og test af direct air capture (DAC) med henblik på at nå teknologi-modning på den lange bane, samt udvikling af effektive metoder til lagring og monitorering.

Slutmål A2: Mindst en CO₂-fangstteknologi implementeret i industriel skala.

Delmål A2.1 (år 1-3): Udvikling og demonstration af 2 nye monitoreringsteknikker til lagring af CO₂.

Delmål A2.2 (år 1-4): Test og validering af 2 nye CO₂-fangstteknologier, herunder fra biologiske processer og DAC. **Delmål A2.3** (år 2-3): 2 studier af nedbrydningshastigheder, -produkter og korrosionseffekter ved CO₂-fangst for at optimere materialer og procesdesign. **Delmål A2.4** (år 3-4): Udvikling og test af 3-4 metoder til reduktion af emissioner og urenheder fra fangstprocesser.

A3. Energisystemintegration, forsyninger og energieffektivitet for PtX- og CCUS-systemer

Udvikling af optimale energiløsninger og forsyninger til sikring af rentabiliteten af anlæg til PtX og CCUS. Fokus på optimal udnyttelse og reduktion af energiforbruget i processerne, herunder digitalisering, samt fokus på vandudfordringerne ved PtX, såsom rensning af alternative vandkilder samt håndtering af koncentrat efter omvendt osmose. Materialekvalificering og udvikling af materialer til infrastrukturkomponenter, metoder til energioptimering af delprocesser i PtX og CCUS og udnyttelse af sekundære energistrømme.

Slutmål A3: Fuldskala energisystemintegration demonstreret for et PtX- eller CCUS-anlæg.

Delmål A3.1 (år 1-3): Udvikling og implementering af 2-3 løsninger til effektiv udnyttelse og rensning af alternative vandkilder til PtX-processer. **Delmål A3.2** (år 1-3): Udvikling og implementering af 2 løsninger til effektiv udnyttelse og integration af overskudsvarme f.eks. i eksisterende fjernvarmeinfrastruktur. **Delmål A3.3** (år 1-4): Udvikling af nye testmetoder til integration af elektrolyse i el- og gasnettet med fokus på energibalancering. **Delmål A3.4** (år 2-4): Optimeret energiforsyning og -forbrug i PtX- og CCUS-anlæg udviklet med fokus på digitalisering og smart energistyring.

A4. National og international vidensdeling inden for PtX og CCUS

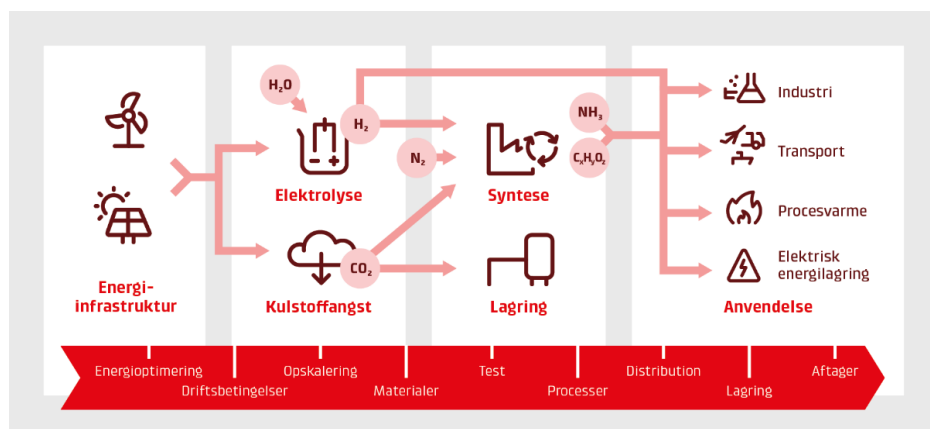
International erfaring og viden samles for at styrke dansk industris position i internationale værdikæder og på tværs af brancher og industrier. Samarbejde med uddannelsesinstitutioner vil udvikle uddannelsesforløb inden for PtX og CCUS, skræddersyet til industriens behov. Fortsat tæt koordinering med GTS, hvor instituttet afsøger et øget samarbejde med FORCE Technology (FT) og

Dansk Brand- og Sikringsteknisk Institut (DBI) om mulighederne for etablering af fælles TDU inden for aktivitetsområdet. Organisering af årlige events, nationalt og internationalt, herunder fortsættelse af den årlige GTS PtX-konference.

Slutmål A4: 20 samarbejdsprojekter inden for PtX og CCUS etableret.

Delmål A4.1 (år 1-4): Organisering af 3-4 årlige events omhandlende PtX og CCUS, inkl. fortsættelse af GTS-konferencen i Vejle. **Delmål A4.2** (år 2-4): 2 nye uddannelsesforløb udviklet og implementeret i samarbejde med uddannelsesinstitutioner. **Delmål A4.3** (år 1-4): Etablering af 4-5 årlige samarbejdsprojekter/partnerskaber mellem industri og forskningsinstitutioner.

De forventede effekter inkluderer accelereret produkt- og komponentudvikling gennem adgang til testfaciliteter og viden, som gennem f.eks. demonstrationsprojekter og internationalt samarbejde skal sikre kompetence- og erfaringsopbygning. Dette vil sikre at vi gennem hele værdikæden er i stand til at udvikle virksomheder og leverandører som i sidste ende vil medføre øget beskæftigelse og eksport samt reduceret CO₂-udledning inden for energi-, kemikalie- og plastindustrien samt transportsektoren. Effekterne vil blive evalueret gennem analyser undervejs i indsatsen, bl.a. i samarbejde med andre GTS'er. Indsatsen vil blive gearret gennem inddragelse af danske virksomheder i nationale og internationale demonstrationsprojekter i f.eks. EUDP og Horizon Europe. Der forventes en gearing af indsatsen med Institutets øvrige FoU-aktiviteter på mindst 2,5. Der vil herudover være samarbejder med danske og udenlandske aktører som universiteter, GTS'er, forskningsinstitutioner, private virksomheder og internationale partnere. Indsatsen koordineres med den fælles GTS-PtX-indsats med FT, DBI og Alexandra Institut (AI), ligesom den forrige blev med stor succes i form af GTS'ernes årlige PtX konference i Vejle, et nøglearrangement i Danmark, samt adskillige publicerede markedsanalyserⁱ. Ydermere er DHI nu også trådt ind i samarbejdet.



Figur 1:
Indsatsområdets
fokusområder på tværs
af værdikæden for PtX
og CCUS.

2. Relevans og potentiale

PtX- og CCUS-teknologierne er anerkendt som afgørende elementer i Danmarksⁱⁱ og resten af verdens overgang til et bæredygtigt og fossilfrit samfund. PtX gør det muligt at konvertere og lagre energi fra vedvarende kilder i grønne brændstoffer, som skal bruges i sektorer, som ikke kan elektrificeres direkte. CCUS bidrager til at reducere CO₂-emissioner fra sektorer, hvor der ikke er alternativer, eller for at skabe negative emissioner ved at indfange, lagre eller anvende CO₂, bl.a.



ved syntese af e-kemikalier og videre bearbejdning af disse. Danske virksomheder har allerede gjort betydelige fremskridt inden for disse områder, men der er stadig væsentlige udfordringer at overkomme. Overordnet er **målgruppen**:

- Producenter af elektrolyseanlæg og synteseanlæg samt komponenter og materialer hertil.
- Operatører og slutbrugere af elektrolyseanlæg og katalytiske synteseanlæg.
- Slutbrugere af grønne brændsler til bl.a. tung transport og skibsfart samt af e-kemikalier mm.
- Producenter af CO₂-fangstudstyr, herunder solventbaseret, adsorption, kryogent og biologisk.
- Punktkilder med høj koncentration af CO₂, herunder kraftvarmeværker, affaldsforbrændingsanlæg, tung industri, raffinaderier, biogasanlæg, samt skibsfart.
- Infrastrukturejere, vandforsyninger samt operatører af energi og CO₂ lagre.
- Rådgivere og underleverandører til ovenstående grupper.

Blandt de mest presserende udfordringer er behovet for teknologimodning, storskala test og demonstration, integration i energisystemet, håndtering af vandkvalitetskrav samt effektiv og økonomisk rentabel produktion af grønne brændstoffer og e-kemikalier. Disse udfordringer kræver løsninger, som den private sektor ikke kan håndtere alene. Som Henrik Stiesdal, CTO hos Stiesdal A/S, udtrykker det på bedreinnovation.dk: *"Vægten på forskning og udvikling af nye materialer og processer til elektrolyse, produktion af grønne brændstoffer og kemisk syntese er fin, og fokus på opskalering og afprøvning i demonstrationsanlæg med tilpasning til eksisterende kemisk infrastruktur sikrer, at de udviklede løsninger kan anvendes i den virkelige verden og er kommercielt levedygtige."*

Indsatsen på disse områder er særdeles relevant for en bred vifte af aktører inden for PtX- og CCUS-teknologier. For disse aktører forventes indsatsen at skabe betydelig værdi ved at styrke danske virksomheders konkurrenceevne og innovationsevne. De nyopbyggede kompetencer og ydelser vil give målgruppen adgang til avancerede test- og demonstrationsfaciliteter, som kan accelerere udviklingen og markedsintroduktionen af nye teknologier. Dette vil medføre øget beskæftigelse og eksport inden for energi-, kemikalie- og plastindustrien samt reducere CO₂-udledningen fra transportsektoren og produktionen af kemikalier og plastmaterialer. Som Kasper Stefan Frederiksen, Head of Plant Technology hos Ørsted, udtaler: *"Ørsted er i gang med at bygge sine første carbon capture anlæg på hhv Asnæsværket og Skærbækværket med samlet fangst af 430,000 tons CO₂ årligt i 20 år. Det er nyt for Ørsted at drive carbon capture anlæg og vi kan derfor ikke forudsige det samlede billede af de tekniske udfordringer der måtte komme. Derfor er indsatsområdet interessant og meget nyttigt for Ørsted. Vi får her mulighed for at teste potentielle udfordringer på Dansk Teknologisk Instituts test anlæg og derigennem opbygge viden forud for idriftsættelsen af carbon capture på de nævnte værker."*

Instituttet har et stærkt netværk inden for PtX-, CCUS- og energisektorerne samt den kemiske industri, og er aktivt involveret i de to grønne missionsdrevne forsknings- og innovationspartnerskaber, Inno-CCUS og MissionGreenFuelsⁱⁱⁱ, ligesom det har en stærk portefølje af danske og europæiske forsknings- og udviklingsprojekter. Dette har sikret, at indsatsen er skræddersyet til at imødekomme de specifikke behov og udfordringer, som målgruppen står



overfor. Som Jacob L. Bonde, R&D Manager hos ESTECH A/S, udtaler: *"Indsatsområdet er for ESTECH essentielt og vil medvirke til at accelerere udbredelsen af CCUS- og PTX-teknologier. Som virksomhed i et CCUS-marked under udvikling er det essentielt fortsat at kunne trække på erfarne eksperter med adgang til relevante testfaciliteter."*

3. Markedssvigt og konkurrencesituation

I en analyse fra 2023^{iv}, udarbejdet i et samarbejde mellem de fire GTS-institutter TI, FT, DBI og Alexandra Institut (AI), er over 100 aktører, først og fremmest SMV'er, blevet spurgt om hvilke udfordringer den danske PtX branche står med. Her fremhæves skalering af produktion, modning af elektrolyse, integration i energisystem og effektiv produktion af grønne brændstoffer som de absolut mest afgørende områder. I samme rapport peger over 70% på at løsningerne bl.a. er demonstration og test i storskala. Energistyrelsen har også anerkendt betydningen af PtX og vurderer, at udbygningen vil tage endnu mere fart efter 2030 og at Danmarks langsigtede forbrug af VE-brændstoffer primært vil blive dækket af dansk produceret biogas og PtX.^v Ligeledes påpeger en analyse for CCUS udført i 2023^{vi} behovet for økonomisk stabile forretningsmodeller samt en større koordinering inden for CCUS-økosystemet, da investeringer i CO₂-fangst, lagring og infrastruktur bliver foretaget uafhængigt af hinanden, hvilket skaber betydelig kommerciel og teknologisk risiko. Trods disse udfordringer forventes vækst i omsætning og beskæftigelse frem mod 2030, men analyserne peger på, at der er et stort behov for teknologisk service til at afhjælpe denne markedsfejl, herunder test- og demonstrationsfaciliteter og at dette bør komme fra de danske GTS'er. Forskningsmiljøerne har hidtil fokuseret på grundlæggende teknologiudvikling, men industrien efterspørger nu testfaciliteter til demonstration af komponenter under realistiske forhold, både i udviklingsfasen og ved idriftsættelse. For at afhjælpe dette markedssvigt vil instituttet levere ydelser direkte til slutbrugere og via samarbejde med udviklere, rådgivere og systemintegratorer. Dette sikrer bred tilgængelighed af ydelser i forskellige industrielle sammenhænge. Instituttet vil etablere tætte samarbejder med GTS'er, universiteter, forskningsinstitutioner og private virksomheder. Dette samarbejde vil fremme anvendelsen af nyeste viden og teknologi, undgå overlap og skabe synergier for at overkomme markedsbarriererne.

Instituttet vil sikre, at dets ydelser komplementerer og ikke konkurrerer med eksisterende tilbud, bl.a. i koordinering med andre GTS'er. Fokus vil være på at levere ekspertise indenfor PtX og CCUS, samt facilitere adgang til unikke test- demonstrationsfaciliteter der ellers ikke er tilgængelig på markedet. Eksempler på disse er faciliteter til test af elektrolyse- og synteseanlæg, af kulstoffangstteknikker, samt af udnyttelse af grønne brændsler og e-kemikalier. Instituttet vil også søge samarbejde og koordinering med eksisterende aktører for at undgå overlap og maksimere synergier. Ligeledes vil instituttet løbende overvåge markedssituationen gennem regelmæssige markedsanalyser, og dialog med relevante interessenter. Der etableres en følgegruppe bestående af repræsentanter fra industrien, universiteter og andre relevante aktører. Denne følgegruppe vil vejlede og evaluere indsatsens retning for at sikre, at den forbliver relevant og tilpasset markedets behov uden at forstyrre eksisterende markedsdynamikker.

4. Vidensspredning og inddragelse i indsatsområdet



Inddragelse af målgruppen og effektiv vidensspredning er afgørende for succesfuld gennemførelse af indsatsen. Målgruppen, bestående af producenter, operatører, slutbrugere af relevante teknologier, underleverandører og rådgivere, vil blive aktivt involveret i både gennemførelsen af indsatsen og formidlingen af dens resultater. Regelmæssige temadage og konferencer vil dels give målgruppen mulighed for at bidrage med erfaringer og behov, dels præsentere forskningsresultater og teknologiske fremskridt. Virksomheder og samarbejdspartnere vil blive inviteret til at deltage i demonstrationsprojekter, hvor samarbejde med slutbrugerne sikrer praktisk anvendelse af nye teknologier og løsninger. Der vil også blive etableret samarbejder med nøgleaktører inden for målgruppen, inkluderende fælles udviklingsprojekter og pilotanlæg, for at skabe en tæt kobling mellem forskningsaktiviteterne og de praktiske anvendelser.

Samarbejdet og arbejdsdelingen med relevante partnere vil være afgørende for en bred forankring af indsatsen. Der vil blive samarbejdet med klyngeorganisationer som Energy Cluster Denmark, CLEAN og Danske Maritime, ligesom der også fortsat vil blive samarbejdet tæt med DaCES. Tæt samarbejde med danske og udenlandske universiteter og forskningsinstitutioner vil sikre adgang til den nyeste viden og teknologi bl.a. gennem fælles forsknings- og udviklingsprojekter. Ligeledes vil der fortsat være tæt samarbejde med GTS-institutterne FT, DBI, AI samt DHI. Partnerskaber med private virksomheder vil bidrage med praktisk erfaring og testfaciliteter, samtidig med at forskningen adresserer konkrete industrielle udfordringer.

Indsatsområdets følgegruppe vil blive sammensat af repræsentanter fra industrien, universiteter, forskningsinstitutioner og klyngeorganisationer. Flere af medlemmerne fra følgegruppen til den forrige indsats "Energilagring og -konvertering" vil blive suppleret af virksomheder og aktører med relevante kompetencer og som har kommenteret forslaget på bedreInnovation.dk. Følgegruppen vil rådgive om retning og prioriteter samt evaluere fremdriften, sikre indsatsens relevans, forebygge konkurrenceforvridning og fungere som ambassadører for at sprede resultaterne bredt.

5. Nyhedsværdi og ambitionsniveau

PtX og CCUS er teknologier, der allerede har opnået betydelige fremskridt, men integrationen og opskaleringen til kommerciel skala udgør stadig en stor udfordring. Indsatsområdet repræsenterer derfor både en tilpasning og formidling af eksisterende viden samt grundlæggende nyskabelser. Indsatsen bygger på velkendte teknologier inden for elektrolyse, katalyse, CO₂-fangst og -lagring, hvor meget af den eksisterende viden er udviklet på universiteter og forskningsinstitutioner, men også i mere praksisnære virksomheder. Disse teknologier skal tilpasses og formidles til industrien for at sikre effektiv implementering. Samtidig vil indsatsen omfatte udvikling af nye materialer, komponenter og processer for at optimere og effektivisere teknologierne. At bevæge sig fra grundlæggende materialeudvikling samt udvikling af enkeltkomponenter, til at arbejde med integrerede systemer og opskalering kræver tættere samarbejde med industrien og adgang til større test- og demonstrationsfaciliteter.

Indsatsen bygger videre på det tidligere indsatsområde "Energilagring og -konvertering", men med et skarpere fokus på PtX og CCUS-teknologier. Det nye indsatsområde lægger større vægt på skalering, implementering og test i storskala, med øget fokus på at bringe teknologierne fra laboratorieskala til demonstration og praktisk anvendelse i industrien. Der er også en stærkere



betoning af integration af PtX og CCUS-teknologier i eksisterende energisystemer og industrielle processer. Indsatsområdet inkorporerer nye teknologiske udviklinger og har et stærkere fokus på at adressere specifikke industrielle behov, særligt inden for sektorer som ikke let kan elektrificeres direkte. Endelig lægger det nye indsatsområde op til endnu tættere samarbejde med industrien, andre forskningsinstitutioner og internationale partnere.

En af de væsentligste barrierer for at indfri indsatsens målsætninger inkluderer den høje kapitalinvestering, der kræves for at etablere de nødvendige test- og demonstrationsfaciliteter. For at håndtere dette vil instituttet søge at etablere partnerskaber og fællesfinansiering med private virksomheder og andre interessenter samt undersøge mulighederne indenfor nationale og internationale finansieringskilder. Manglen på kvalificeret arbejdskraft og ekspertise inden for PtX og CCUS kan også hæmme udviklingen og implementeringen af nye teknologier. Instituttet vil derfor samarbejde tæt med universiteter og andre videninstitutioner for at udvikle og tiltrække talent. Regulatoriske og politiske ændringer kan udgøre en risiko for indsatsområdet, da de kan påvirke investeringsvilkårene og markedsmulighederne. For at håndtere denne risiko vil instituttet aktivt overvåge den politiske og regulatoriske udvikling og tilpasse sine aktiviteter i overensstemmelse hermed. Tidshorizonten for de forventede nye serviceydelser varierer afhængigt af teknologiområdet, fra 1-2 år for rådgivning og test af eksisterende teknologier, til længere tid for opskalering og demonstration af integrerede PtX- og CCUS-systemer.

6. Kobling til forsknings- innovations- og erhvervsfremmesystemerne

Indsatsområdet vil blive tæt koblet til både nationale og internationale forsknings-, innovations- og erhvervsfremmesystemer. Et bredt spektrum af samarbejdspartnere vil blive inddraget i aktiviteterne for at sikre en effektiv vidensdeling og udnyttelse af ressourcer. På nationalt plan vil instituttet samarbejde med danske universiteter og andre videninstitutioner som DTU, AAU, SDU, KU og AU. Dette samarbejde vil omfatte fælles forsknings- og udviklingsprojekter, deling af faciliteter, herunder deltagelse fra instituttet i NEST (National Energy System Transition Facilities) samt samarbejde om uddannelses- og træningsprogrammer. F.eks. vil der være testsamarbejder om elektrisk lagring og PtX-processer. Der vil ligeledes blive samarbejdet med DaCES samt klyngerne Energy Cluster Denmark, CLEAN og Danske Maritime.

Instituttet vil også samarbejde tæt med andre GTS-institutter, særligt inden for den fælles GTS-PtX-indsats med FT, DBI, AI samt DHI.^{vii} Samarbejdet indebærer bl.a. etablering af arbejdsgruppe på tværs af instituttet, DBI og FT med henblik på afsøgning af mulighederne for fælles TDU indenfor indsatsområdet. Der er aftalt en tæt og vedblivende koordinering af indsatsens aktiviteter med aktiviteterne 'Power-to-X: Fra grøn vision til global forretning' og 'Danmark som CO2 Hub – skalering og markedsføring' hos Force Technology. Dette vil ske med henblik på opbygning af komplementære ikke-overlappende serviceydelser samt udvikling af fælles aktiviteter og projektansøgninger. På internationalt plan vil instituttet deltage i større forskningsprojekter, samarbejde omkring testfaciliteter og vidensnetværk. Eksempler herpå er de europæiske Horizon programmer, Hydrogen Europe Research og Connecting Europe Facility, men også netværk som understøtter teknologi og udvikling indenfor både CCUS og PtX.

Instituttet vil også samarbejde med internationale forsknings- og teknologiorganisationer (RTO'er) som SINTEF, RISE, VTT, VITO, TNO, Fraunhofer, DLR og HyCentA. Disse vil give adgang til state-of-the-art viden og faciliteter samt styrke instituttets position i internationale værdikæder. På området for CCUS forventes et tæt samarbejde med aktører som SINTEF, National Oceanographic Centre, NORCE og TNO om aktiviteter relateret til Nordsøen. Derudover vil instituttet samarbejde med private nationale og internationale aktører med satsninger inden for CCUS, herunder TOTAL, INEOS, Wintershall Dea og danske teknologileverandører, ligesom der også vil blive samarbejdet med danske rådgivende virksomheder indenfor PtX. Det forventede samspil og arbejdsdeling med danske og udenlandske videninstitutioner og øvrige aktører vil omfatte:

- Forsknings- og udviklingsprojekter: Udvikling og test af nye teknologier, materialer og processer.
- Koordinering og udvikling af faciliteter: Udnyttelse af hinandens test- og demonstrationsfaciliteter for at optimere ressourceanvendelsen og sikre adgang til avanceret infrastruktur.
- Uddannelses- og træningsprogrammer: Udvikling af uddannelsesforløb og træningsprogrammer for at opbygge kompetencer inden for PtX og CCUS.
- Netværksdannelse og videndeling: Deltagelse i konferencer, workshops og seminarer.

Instituttet vil geare indsatsen gennem en række eksterne projekter og programmer både nationalt og internationalt, så indsatsområdet forankres i de eksisterende forsknings-, innovations- og erhvervsfremmesystemer, og der drages fordel af eksisterende viden og ressourcer. Der forventes at kunne opnås en gearing af Instituttets FoU-aktiviteter på mindst 2,5.

7. Sammenhæng med instituttets strategi og afsæt i instituttets ressourcer

Indsatsområdet er tæt forbundet med Teknologisk Instituts overordnede strategi, som fokuserer på at fremme bæredygtige materialer, bæredygtige energiløsninger og grøn omstilling. Instituttets mål er at bidrage til reduktionen af CO₂-udledning og fremme brugen af vedvarende energi gennem forskning, teknologisk udvikling og innovation. PtX og CCUS er centrale teknologier i denne sammenhæng, da de muliggør lagring og konvertering af vedvarende energi til grønne brændstoffer, og e-kemikalier samt reducerer CO₂-emissioner fra vanskeligt elektrificerbare sektorer. Instituttet har gennem mange år opbygget stærke kompetencer og ressourcer inden for energilagring og -konvertering, hvilket danner et solidt fundament for denne indsats. Instituttet råder over specialiserede laboratorier inden for elektrokemi, motortest, energisystemintegration og carbon capture, som er blevet udviklet gennem tidligere resultatkontrakter som "Energilagring og -konvertering" og "Grøn Kemi og Grøn Procesteknologi". Disse faciliteter og den oparbejdede ekspertise danner et stærkt afsæt for den nuværende indsats. Instituttet har desuden et tæt samarbejde med danske og internationale universiteter, forskningsinstitutioner og virksomheder inden for energi-, kemi- og transportsektorerne. Dette omfatter deltagelse i nationale og internationale forsknings- og udviklingsprojekter, hvor instituttet bidrager med sin ekspertise og faciliteter. Indsatsområdet er tæt forbundet med andre af instituttets indsatsområder, især:

- Fremtidens energiprodukter og energisystem: Begge indsatser arbejder med CO₂-besparelser og løsninger til energisystemet, og synergierne mellem de to indsatser vil derfor blive udnyttet.
- Dekarbonisering i industrien: Indsatsen drager fordel af og bidrager til instituttets aktiviteter inden for energi- og klimateknologier.



- Center for domænedrevet AI som løftestang for dansk erhvervsliv: Integration af digitale løsninger og automatiseringsteknologier, herunder dataanalyse, sensorer og styringssystemer, er afgørende for effektiv styring og optimering af PtX- og CCUS-systemer.
- Cirkulære materialer: PtX og CCUS spiller en central rolle i overgangen til en cirkulær økonomi, hvor CO₂ genanvendes og vedvarende energi bruges effektivt.

Med sin mangeårige erfaring og ekspertise inden for energilagring og -konvertering, sine state-of-the-art faciliteter og sit omfattende netværk er Institutet godt rustet til at gennemføre indsatsen. Indsatsen vil styrke Institutets position som central aktør i den grønne omstilling og bidrage til at realisere visionen om at gøre danske virksomheder til frontløbere inden for PtX og CCUS.

8. Konkrete aktiviteter i år 1

Følgende aktiviteter vil blive igangsat i indsatsens første år:

A1. Materialer, processer, opskalering og nye teknologier til PtX og CCU

- Opbygning af større testfaciliteter med danske og internationale aktører, herunder til test af energimix og -management til elektrolyseanlæg.
- Opbygning af lab- og testfaciliteter til elektrolyse, brint- og metanolproduktion samt undersøgelse af elektrisk og katalytisk produktion, herunder mobile faciliteter til on-site tests.
- Udbygning og tilpasning af faciliteter til anvendelse og test af PtX-brændstoffer samt kulstoffangst-pilotanlæg.
- Udvikling af materialer, processer og demoanlæg til ammoniak som grønt brændsel.
- Udvikling af overflader til at muliggøre brugen af nye grønne brændsler samt aktive overflader til elektrolyseenheder og katalytisk aktive overflader til amin-scrubbing i capture-anlæg.
- Kortlægning og test af materialers stabilitet og korrosionsbestandighed samt, ved behov, udvikling af beskyttende overfladebelægninger til PtX- og CCUS-industrien.
- Udvikling og test af oprensingsprocesser for CO₂-baserede e-kemikalier fra PtX/CCU.
- Katalytiske, nanostrukturerede overflader til CO₂-konvertering og grøn metanolproduktion.
- Ydelser til fejlfinding, driftsoptimering og statistiske værktøjer for procesoptimering.
- Etablering af 4 konsortier og industrisamarbejder inden for PtX, CCU og brintinfrastruktur.

A2. Forbedring af processer og materialer inden for CCS

- Udbygning og opskalering af materiale-testfaciliteter til CO₂-fangst samt af testfaciliteter til reduktion af industriudledninger.
- Vidensopsamling om capture-teknologier, skalering og implementeringsudfordringer.
- Udvikling af monitoreringsteknologier til CO₂-lagre og infrastruktur herunder emission-test-site.
- Test af nedbrydningshastigheder, -produkter og korrosionseffekter ved CO₂-fangst.
- Udvikling af teknologier, måleprincipper og valideringsmetoder for fangstanlæg samt lagring.
- Etablering af 1-2 konsortier fokuseret på energioptimering og solventer til CO₂-capture.

A3. Energisystemintegration, forsyninger og energieffektivitet for PtX- og CCUS-systemer

- Udvikling af Energy Management System (EMS) koncepter for PtX-systemer.



- Udvikling af fundament for Carbon Capturelab til kobling mod PtX-processer.
- Test og dokumentation af forskellige vandkilder til PtX og påkrævede rensetrin, herunder ultrarent vand.
- Teknologiuudvikling til håndtering af opkoncentreret spildevandsfraktion med miljøfarlige stoffer
- Kombineret af biologiske og kemiske renseteknologier for optimalt treatment train til PtX-vand
- Udarbejdelse af katalog over muligheder for udnyttelse af sekundære energistrømme og overskudsvarme, f.eks. via varmepumper.
- Procesberegninger og udarbejdelse af notat om udfordringer, potentialer og løsninger for systemkonfigurationer.
- Udvikling af 1-2 konsortier til energioptimering og sektorkobling i PtX-processer.

A4. National og international vidensdeling inden for PtX og CCUS

- Etablering af arbejdsgruppe på tværs af TI, DBI og FT med henblik på afsøgning af mulighederne for fælles TDU.
- Afholdelse af konference/temadag omkring capture-teknologier.
- Fælles plan for videnspredning med afsæt i GTS-samarbejdet, herunder afholdelse af fælles GTS PtX konference.
- Afholdelse af yderligere en PtX konference/temadag.
- Etablering af samarbejde med uddannelsesinstitutioner omkring udvikling af uddannelsesforløb inden for PtX og CCUS.

ⁱ Bl.a. https://www.teknologisk.dk/_/media/85827_Erhvervsøkonomisk-analyse-power-to-X-emve-komprimeret.pdf.

ⁱⁱ Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet – Regeringens strategi for Power-to-X (2021):
(<https://www.kefm.dk/Media/637751860733099677/Regeringens%20strategi%20for%20Power-to-X.pdf>

& Klimahandling – I mål med fangst og lagring af CO₂ (2023):
https://www.kefm.dk/Media/638282051686853588/Klimahandling_I%20ma%C2%B0l%20med%20fangst%20og%20lagring%20af%20CO2%20-%20Kopi.pdf

ⁱⁱⁱ Mere info om de to InnoMissions kan findes på hjemmesiderne <https://inno-ccus.dk/> og <https://missiongreenfuels.dk/>.

^{iv} POWER-TO-X: Et vækstområde møder udfordringer, november 2023, ISBN: 978-87-91461-67-5.
https://www.teknologisk.dk/_/media/89635_PtX%20Erhvervs%F8konomisk_analyse%20%20_21-11-2023.pdf

^v Energistyrelsen – Energiforudsætninger til Energinet (2022): https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Hoeringer/af22_-_sammenfatningsnotat.pdf.

^{vi} CCUS: Sådan bliver Danmark klar til det grønne erhvervseventyr, Teknologisk Udsyn nr. 1, oktober 2023.

^{vii} Relationer til indsatsområder fra de fire GTS'er: DBI: Tværfaglige data og modeller som grundlag for fremtidens sikre energisystem, DBI: Havnen som knudepunkt for sikker håndtering af elektrobrændsler, Force: Danmark som CO₂-hub, Force Technology: Power-to-X: Fra grøn vision til global forretning, DHI: Omstilling til grøn energi – Hav, vand og miljø.