A wide-angle photograph of an offshore wind farm at sunset. The sky is a gradient of orange and pink, with a small airplane visible in the distance. In the foreground, a large, flat, rectangular platform floats on the water. Several wind turbine foundations are visible in the middle ground, and a long line of turbines extends into the distance. The water is calm and reflects the colors of the sky.

Danmark som pioner for energiøer

Executive Summary

Vi vurderer, at der kan spares 20-30 mia. kr. gennem en rettidig, målrettet forskningsindsats for en energiø med en kapacitet på 10 GW. En besparelse af den størrelse vil ikke kun gavne Danmark, men også markant øge chancerne for at inspirere andre lande til at anlægge energiøer.

Danmark som pioner for energiøer

Folketinget har vedtaget det største anlæg af infrastruktur i Danmark nogensinde. Sammen med en satsning, der skal gøre Bornholm til energiø, bliver den nye kunstige ø i Nordsøen virkeliggørelsen af drømmen om at basere dansk elforsyning på vedvarende energi. Det er et afgørende led i et endegyldigt farvel til importeret fossilt brændsel. Energiøerne vil få en stor betydning for vores samfund både økonomisk, socialt og miljømæssigt. Derfor skal øerne etableres på et stærkt vidensgrundlag, så vi kommer rigtigt i gang og i mål.

For det første skal energiøerne passe sammen med resten af energisystemet. Ikke kun når de bliver indviet i 2030 (Bornholm) og 2033 (Nordsøen), men gennem hele deres levetid, hvor mange flere energiøer og ændringer i energisystemerne kan komme til.

For det andet skal energiøerne være sikre. Her tænker vi ikke kun på arbejdsmiljøet for medarbejderne, der skal bygge og drive øerne. Sabotagen mod Nord Stream 2 gasledningen i Østersøen er en påmindelse om, at infrastruktur på energiområdet kan være et mål. Energiøerne skal være modstandsdygtige over for såvel digitale som fysiske angreb. Samtidig vil det være naivt at tro, at vi kan gardere os fuldstændigt. Systemet skal være designet sådan, at en skade på et del-system ikke spreder sig med fatale konsekvenser for større dele af Europas energiforsyning.

For det tredje skal skadelig påvirkning af havmiljø og biodiversitet undgås. Desuden skal bæredygtigheden være i top. CO₂-udledninger samt forbrug af ressourcer under konstruktion og drift skal minimeres. I den forbindelse er det vigtigt at tænke på, at hensyn til miljø og bæredygtighed spiller en stor rolle for befolkningens accept af anlægsprojekter.

Denne rapport rummer anbefalinger til forskning og udvikling, der kan give svarene på de tre nævnte sæt af udfordringer. I sektorudviklingsprojektet er DTU gået sammen med en række virksomheder og brancheorganisationer om at kortlægge udfordringer og løsningsmuligheder, så energiøerne bliver udformet bedst muligt. Hovedvægten har været på at vise, hvor det er muligt at finde gode og billige løsninger gennem målrettet forskning.

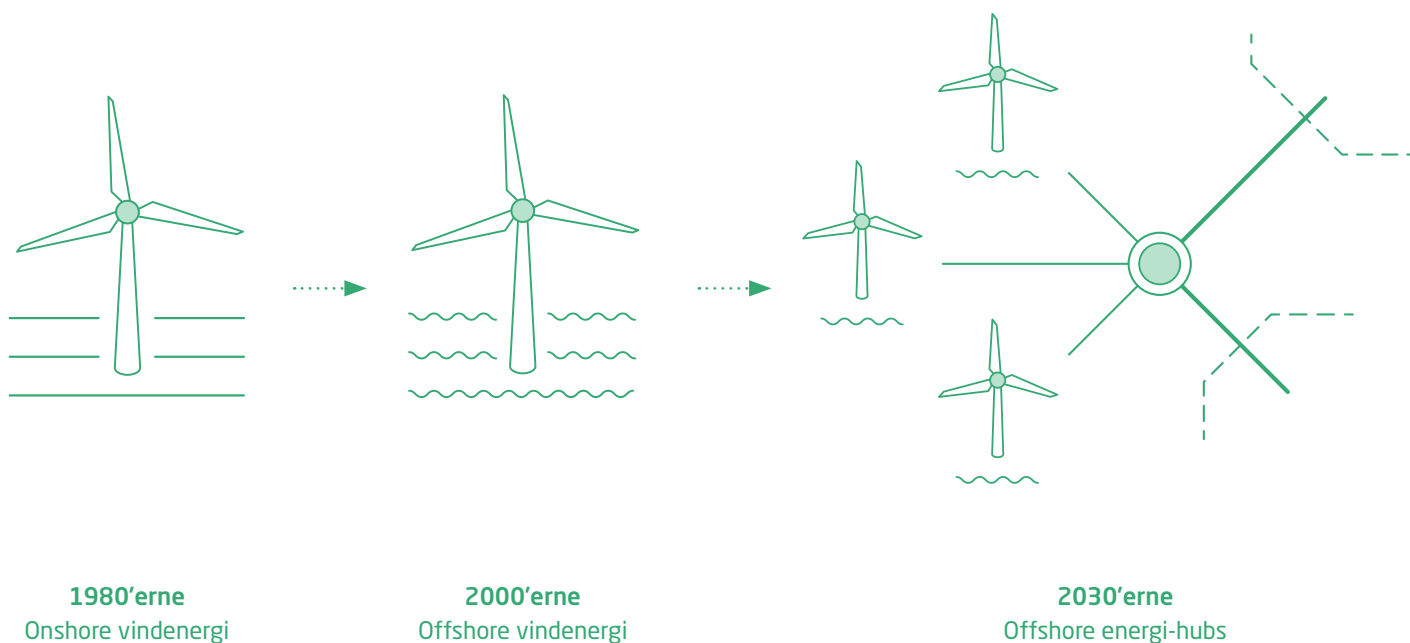
Hvorfor skal vi have energiøer?

Sammen med en række andre lande har Danmark forpligtet sig til en massiv udbygning af den vedvarende energi. Alene i Nordsøen og tilgrænsende havområder er der aftalt en kapacitet på 300 GW (giga watt) vindkraft i 2050. Til sammenligning er den totale kapacitet for dansk offshore vind i dag 2,3 GW.

Det er umuligt at basere en så markant udbygning på vindmølleparker tæt ved kysterne. Selv hvis man så bort fra borgerprotester og lokalplaner, ville der langt fra være plads nok. Derfor må udbygningen nødvendigvis være baseret på udnyttelse af vinden på det åbne hav.

Heldigvis er potentialet for vindkraft på det åbne hav meget stort. Men det tekniske koncept, som bruges til vindmølleparker nær kysten, vil ikke fungere på det åbne hav. For de kystnære parker, som vi kender i dag, produceres strømmen som vekselstrøm (AC), der føres direkte gennem kabler ind til nettet på land. Afstanden ud til parker på åbent vand betyder, at man er nødt til at omforme strømmen til jævnstrøm (DC) for at kunne sende den til land. Udstyret, der skal stå for at omforme strømmen – såkaldte convertere – fylder så meget, at man er nødt til at have en fysisk struktur tæt på produktionsstedet. Uden energiøer

Vindenergiens evolution



kan det med andre ord ikke lade sig gøre at udbygge vindkraften offshore i den målestok, der er lagt op til.

En sidegevinst er, at der kan være mulighed for at placere andre typer af produktion på øerne. Det kunne for eksempel være produktion af brint eller grønne brændstoffer til fly, industri, tung trafik og skibe. Det som også kaldes Power-to-X. Produktionen af sådanne brændsler er en nødvendig forudsætning for at realisere Paris-aftalens mål om at reducere de globale gennemsnitlige temperaturændringer til at være højst lige under to grader eller gerne højst 1,5 grader.

Verdens største projekt for vedvarende energi

Omfanget af udfordringen illustreres af, at alene etableringen af energiøen i Nordsøen og de tilhørende vindmølleparker er anslået til at koste 210 mia. kr. Det svarer ca. til fem gange Storebæltsforbindelsen.

Ingen i verden har bygget noget inden for vedvarende energi i denne fysiske og økonomiske skala. En energiø er ikke et produkt, man kan tage ned fra hylden. Mange løsninger er ikke klar endnu. For eksempel har de konventionelle kraftværker i vores nuværende el-system store synkron-generatorer, der leverer inert i til systemet. Det sikrer, at systemet ikke kollapser, hvis der kommer en ubalance mellem forbrug og produktion. Elnettet på en energiø vil udelukkende bestå af converter-baserede enheder uden inert i og andre vigtige egenskaber, som kraftværkerne besidder for at systemet kan fungere. Der er derfor behov for fundamentalt nye løsninger til styringen af el-systemet på en energiø.

Selv for de elementer, der er velkendte - for eksempel selve hav-vindmøllerne - er der stor sandsynlighed for, at man kan opnå markante fordele ved at skræddersy dem til netop at indgå i en energiø.

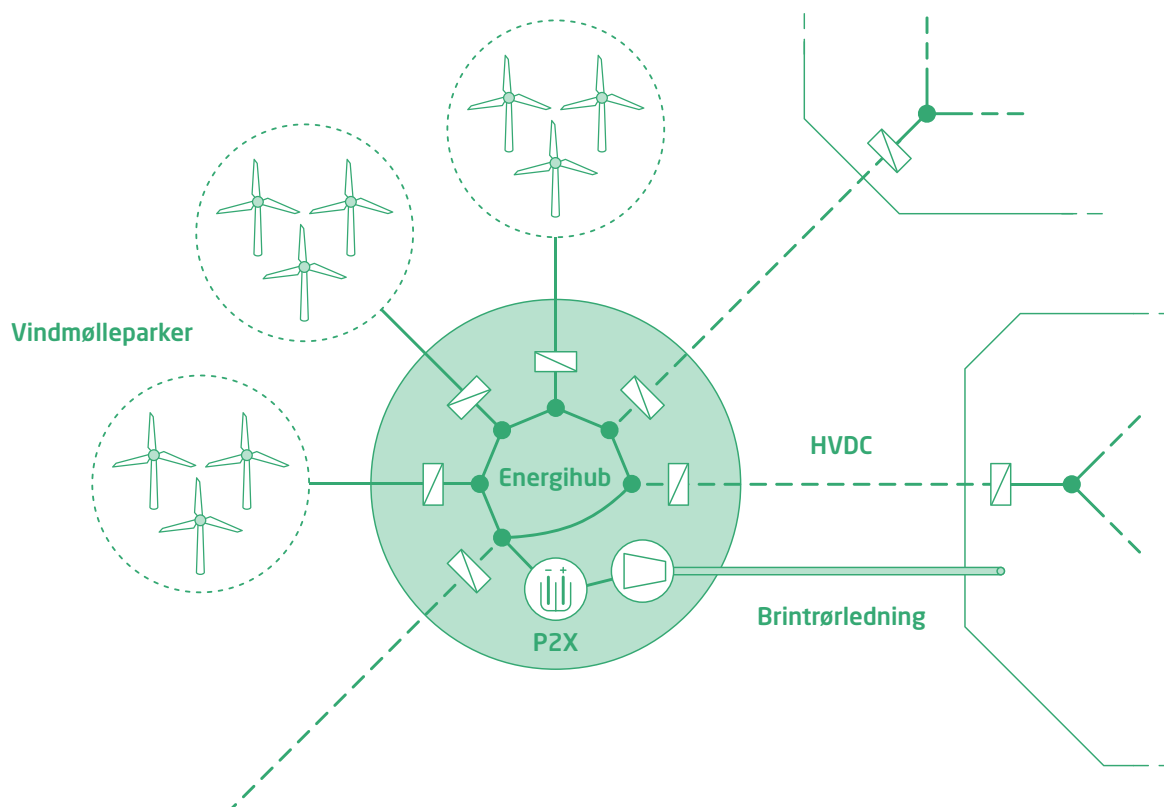
Desuden er der et stort potentiale for at skabe en god sammenhæng mellem energiøer og resten af samfundet. Faktisk er vi ikke bekendt med, at der er foretaget samlede vurderinger af, hvordan energiøerne vil påvirke samfundsøkonomien. Det gælder hverken i forhold til de samfundsøkonomiske omkostninger og gevinster, mulighederne for at skabe udvikling og beskæftigelse i lokalområder eller mål for udvikling af natur og biodiversitet.

Initiativer som bør starte omgående i samarbejde mellem industri og forskning

Vi anbefaler seks initiativer, som bør sættes i gang omgående i et samarbejde mellem virksomheder og forskere. Fælles for dem er, at de skal skabe løsninger, der er kritiske for, at vi kan lykkes med energiøer. Samtidig kan løsningerne bane vej for eksport for danske virksomheder.

- Værktøjer til at optimere af beslutninger om investering, design og drift af vindkraft i gigawatt-skala og Power-to-X systemer til energiøer. Herunder spørgsmål som elektrolyse-teknologi, dimensionering, kobling til det øvrige el-system, og integration på energimarkedet.
- Sikring af energiøernes modstandskraft over for digitale og fysiske angreb, håndtering af opståede fejl, stabilitet af el-systemet og forsyningsikkerheden, samt samspillet mellem convertere.

Et potentielt energiø-layout



- Skabelse af et grundlag for vurdering af vind-ressourcer samt vejr- og vandbetingelser som udgangspunkt for dimensionering af de fysiske strukturer og for miljøvurderinger.
- Mere brug af modulært design. For eksempel kan udviklingen fra ren strømproduktion til Power-to-X med fordel bygges op i moduler.
- Vurdering af efterspørgslen efter strøm og Power-to-X brændstoffer. Perspektivet bør være henholdsvis europæisk og globalt. Tidshorizonten bør være de kommende to årtier. Scenarier for stabilisering af stigningen i den globale temperatur på henholdsvis 1,5 og 2,0 grader bør inddrages. Scenarierne skal afspejle nationale mål, EU-mål, tidsmæssig udvikling i reduktioner i udledning af drivhusgasser, sektorer, samt priser på CO₂-udledning.
- Vurdering af instrumenter til opfyldelse af EU-mål samt danske mål for grøn omstilling og for Power-to-X elementet i energiøer. Herunder EU-systemet for handel med CO₂-kvoter (ETS), CO₂-afgifter samt støtteordninger og tekniske standarder. Også spørgsmål af betydning for international samhandel - herunder handelshindringer indført af enkeltlande - bør inddrages.

Milliarder kan spares gennem forskning

Ud over de seks hastende initiativer har vi en række anbefalinger til yderligere forskning. Det drejer sig om projekter, der enten er kritiske for at etablere øerne eller kan medføre markante besparelser.

Vindmøller, der tilsluttes vores nuværende el-system, skal overholde en række el-tekniske krav. Det er nødvendigt for at opretholde spændingskvaliteten i nettet, men gør samtidig møllerne dyrere. Da energisystemet på en energiø vil udgøre et isoleret vekselstrømsnet uden el-forbrugere, er det ikke nødvendigt, at

møllerne lever op til de samme skrappe krav. Blot skal converterne i de store jævnstrømsforbindelser, som kobler energiøen til elnettet på land, leve op til kravene. Dermed kan omkostningerne for møllerne mindses væsentligt. Vi vurderer, at denne indsats sammen med enkelte lignende systemoptimeringer af transformerstationerne på energiøen og mere sammentænkte el/brint-løsninger kan skabe en besparelse på 20 mia. kr. for en energiø på 10 GW, svarende til energiøen, der planlægges i Nordsøen.

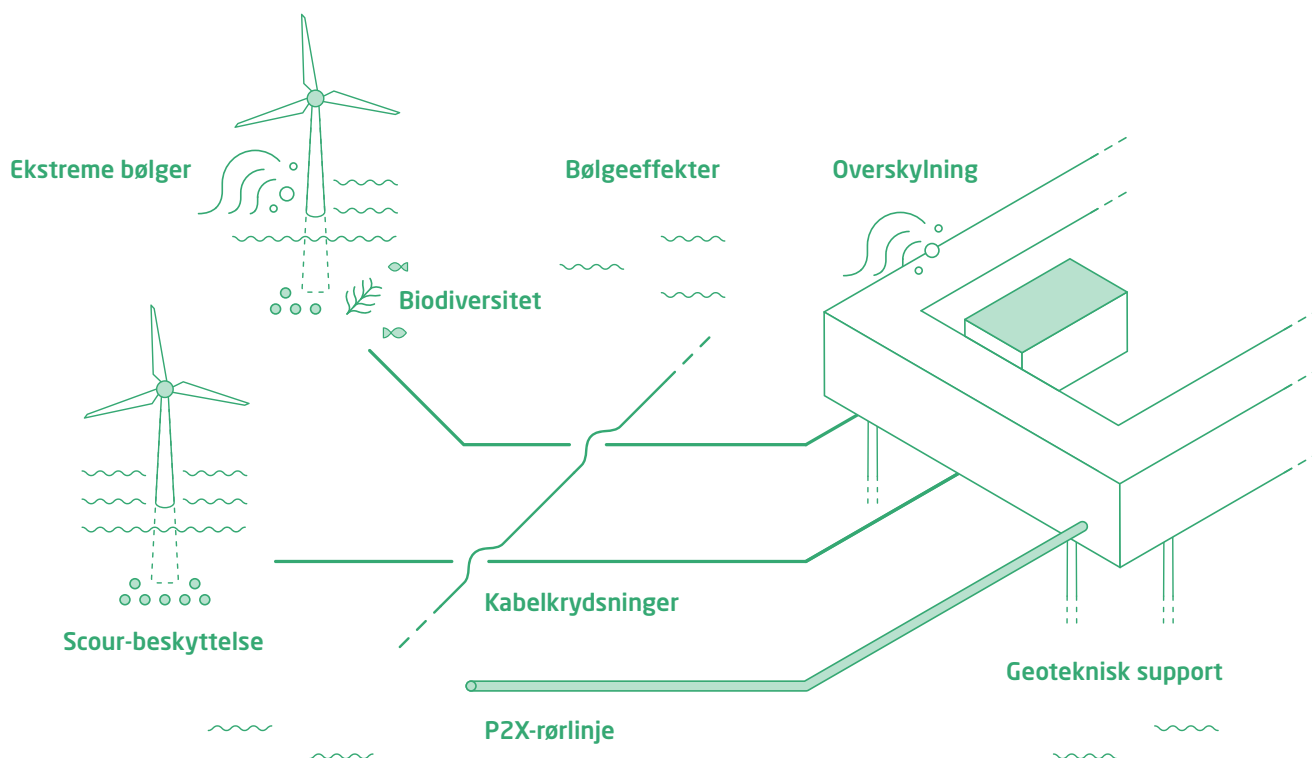
Et andet område for besparelser er selve byggeriet af den kunstige ø. En kunstig ø skal kunne modstå belastningerne fra vind, bølger og strøm. De retningslinjer, som beregningerne bygger på, er typisk baseret på metoder, som er 40-50 år gamle. Samtidig er der tendens til, at industriens metoder baseres på tidligere erfaring med designprocedurer. Det medfører ofte unødvendigt forsigtige valg og dermed et spild af ressourcer og penge, og i andre tilfælde decideret problematisk design, som ikke afspejler nutidige og fremtidige belastninger. Gennem moderne, evidens-baserede metoder vil det være muligt at opnå billigere og mere bæredygtige løsninger uden at gå på kompromis med sikkerheden.

Besparelser vil gavne den grønne omstilling

Endelig kan det få stor positiv betydning for projektets økonomi, at bæredygtighed, biodiversitet og miljøpåvirkning bliver inddraget rettidigt. Det er kendt fra andre store infrastrukturprojekter som Femern Bælt og Lynetteholm, at tvivl om denne type spørgsmål kan føre til betydelige forsinkelser. For et så stort projekt som en energiø kan forsinkelser hurtigt medføre ekstra omkostninger for milliarder.

Samlet vurderer vi, at den forskningsindsats, som vi anbefaler,

Tværsnit af energiø



kan medføre besparelser for 20-30 mia. kr. for en energiø af den størrelse, der planlægges i Nordsøen. En så stor besparelse vil ikke kun lette byrden for statskassen og forbrugerne af energi, men også have stor betydning for den grønne omstilling. De danske energiøer bliver nogle af de første i verden. Det er vigtigt, at øerne får succes - også økonomisk. Det vil afgøre, om andre lande følger trop, og om den danske energibranche kan fastholde pionerpositionen og skabe et nyt dansk erhvervseventyr.

Danmark er et lille land, men hvis vi kan inspirere andre til at følge vores eksempel, kan det ende med at få betydning for hele kloden og i sidste ende dæmpe stigningen i den globale temperatur.

For kommentarer og yderligere information vedrørende projektet om energiøer kontakt gerne:

Professor Jacob Østergaard

jaos@dtu.dk
DTU Wind and Energy Systems

Professor Erik Damgaard Christensen

edch@dtu.dk
DTU Construct

Professor Kirsten Halsnæs,

khal@dtu.dk
DTU Management

Projektleder Leon Aahave Uhd

laauh@dtu.dk
DTU Partnerships

Sektorudvikling på DTU

Med henblik på at højne konkurrenceevnen i teknologi-intensive sektorer tager DTU jævnligt initiativ til projekter inden for sektorudvikling. De enkelte projekter skabes i et forum med repræsentanter for danske og internationale virksomheder, myndigheder, brancheorganisationer samt DTUs forskere.

Som udgangspunkt kortlægges den givne branche gennem workshops og interviews med interessenter. Ud fra kortlægningen udpeges flaskehalse og udviklingsbehov hos virksomheder, myndigheder og DTU/universiteterne. På denne baggrund anbefales initiativer inden for forskning, uddannelse og rammebetingelser.



**Danmarks
Tekniske
Universitet**

Anker Engelunds Vej 1
2800 Kgs. Lyngby
www.dtu.dk

Juni 2023
Omslag: De danske energjører,
Illustration: Energistyrelsen

UDGIVER
Danmarks Tekniske Universitet
Anker Engelunds Vej 101
2800 Kongens Lyngby