



DTU Mini Sektorudviklingsprojekt  
Februar 2021

# Grønne brændstoffer i Det Blå Danmark: DTU-forslag til forskningsbehov

The background of the slide is a photograph of several offshore wind turbines in the ocean. The sky is a clear, deep blue, and the water is a darker blue. The turbines are white with yellow bases. One turbine in the foreground is clearly visible, showing its three blades and the tower. Other turbines are visible in the distance, creating a sense of a large wind farm.

# Forord

---

Det Blå Danmark har en ambition om at være et internationalt foregangsland for klimavenlig skibsfart. Omstillingen til en mere bæredygtig skibsfart er dog en stor udfordring, der vil kræve betydelige investeringer i både ny teknologi, skibe og energiinfrastruktur og en systemisk tilgang til samarbejde på tværs af sektorer og mulige aftagere af grønne brændstoffer.

Med denne rapport præsenterer DTU resultatet af et arbejde i at kortlægge forskningsmulighederne for Grønne Brændstoffer i det Blå Danmark. Arbejdet har afdækket, at der er behov for forskning på tværs af systemer og over hele værdikæden. Kortlægningen er lavet med viden fra DTU forskere samt input fra industrien og brancheorganisationerne. Rapporten præsenterer en kortlægning af udfordringer,

forskningsbehov og rammebetingelser, som kan medvirke til at understøtte potentialet for grønne brændstoffer i det Blå Danmark. Kortlægningen er afrundet med anbefalinger til forskningsbehov inden for udvalgte områder samt uddannelse og test- og demonstrationsprojekter. Det er vores håb, at rapporten kan være med til at sikre det Blå Danmark en plads helt fremme i førerfeltet inden for bæredygtig skibsfart i mange år endnu.

**Marianne Thellersen**

Koncerndirektør for Innovation og Entrepreneurskab  
Danmarks Tekniske Universitet



“Det er vores håb, at rapporten kan være med til at sikre det Blå Danmark en plads helt fremme i førerfeltet inden for bæredygtig skibsfart i mange år endnu.”

# Indhold

## Indledning 06

## Anbefalinger til forskning, uddannelse og test- og demonstrationsprojekter 10

## Danmark som lokation for test- og demonstrationsprojekter 38

## Appendix 1: Medlemmer af styregruppe, arbejdsgruppe samt interviewpersoner/deltagere i workshop 44

## Noter 46

### Sådan har vi gjort

Hovedformålet med mini sektorudviklingsprojektet er at identificere virksomheders teknologiske udfordringer ifm. transformationen mod at anvende grønne brændstoffer i Det Blå Danmark og vurdere, hvilken DTU forskning der er behov for givet de teknologiske udfordringer. Konkret er der i projektet udviklet nye realiserbare og fokuserede visioner for forskning og innovation.

Kortlægningen er foregået vha. interviews med nøglepersoner i hver af virksomhederne, offentlige institutioner og myndigheder og brancheforeninger og er trykprøvet på en "Visioner for forskning og roadmap" workshop med deltagelse af interviewpersonerne og på 3 styregruppemøder med deltagelse af institutdirektørerne for de deltagende institutter på DTU. Sideløbende med interviews, workshop og styregruppemøder er de fremkomne indsigter blevet drøftet på arbejdsgruppemøder hver 14. dag for de deltagende DTU forskere.

Projektet har haft deltagelse af forskere fra DTU Centret for Olie & Gas, DTU Compute, DTU Elektro, DTU Energi, DTU Fysik, DTU Kemi, DTU Kemiteknik, DTU Management, DTU Mekanik, DTU Miljø, DTU Space og DTU Vind. Maritime DTU og Afdeling for Forskning, Rådgivning og Innovation på DTU har været tovholdere.

Anbefalingerne i rapporten reflekterer dialogen med aktører fra sektoren og på tværs af de involverede DTU institutter. DTU er afsender af rapporten.

### Sektorudvikling

Sektorudviklingsprojekter er et af de værktøjer, som DTU bruger til at samarbejde med erhvervsliv og myndigheder. Målet med projekterne er at styrke teknologiintensive branchers konkurrenceevne ved at skabe overblik og handlingsplaner for udvikling og anvendelse af nye teknologier.

#### Metoden går ud på at:

- Kortlægge og analysere teknologianvendelsen i branchen, baseret på interviews og workshops
- Identificere flaskehalse og udviklingsbehov både hos virksomheder, myndigheder og DTU
- Udvikle anbefalinger til forskning og rammebetingelser

Sektorudviklingsprojekterne bliver skabt i et forum bestående af repræsentanter for virksomheder, myndigheder, brancheforeninger i ind- og udland og af forskere fra DTU.



# Indledning

Danmark er blandt verdens førende maritime nationer, og Det Blå Danmark er en af Danmarks erhvervmæssige styrkepositioner. Der er cirka 60.000 personer direkte beskæftiget i Det Blå Danmark, og cirka 42.000 personer er indirekte beskæftiget i Det Blå Danmark. Samlet set svarer det til 3,8 % af beskæftigelsen i Danmark.<sup>1</sup> Det Blå Danmark genererer 5 % af Danmarks BNP og en eksportværdi på 25 % (232 mia. kroner) af Danmarks samlede eksport. Det Blå Danmark har således stor samfundsøkonomisk betydning i Danmark.<sup>2</sup>

Det Blå Danmark er del af et globalt erhverv. Der sejler mere en 90.000 kommercielle skibe på verdenshavene som bruger ca. 250 mio. ton fossilt brændstof.<sup>3</sup> Mere end 95 % af dansk skibsfart foregår uden for Danmarks grænser.<sup>4</sup>

Det Blå Danmark står over for store udfordringer i takt med omstillingen til en mere miljø- og klimavenlig transportform samt øget digitalisering og nye forretningsmodeller. Skibsfarten står på globalt plan for 2-3 % af verdens samlede CO<sub>2</sub>-udledninger og transporterer godt 80 % af verdenshandelen.<sup>5</sup> Selvom rederierne de seneste år har effektiviseret og reduceret skibenes brændstofforbrug markant,

er der behov for at overgå til nye brændstoffer og fremdriftsmidler. IMO (International Maritime Organization) har vedtaget, at skibsfarten skal reducere sine udledninger med mindst 50 % i 2050.<sup>6</sup> Mærsk er gået endnu længere og har meldt ud, at virksomheden vil være klimaneutral i 2050.<sup>7</sup>

I 2018 stod Det Blå Danmark for udledning af 0,8 mio. tons CO<sub>2</sub> ved sejlands i dansk farvand, hvilket udgjorde godt 2 % af den samlede udledning fra alle 13 klimapartnerskaber på i alt 35,9 mio. tons CO<sub>2</sub>. Det Blå Danmarks CO<sub>2</sub>-udledning ved sejlands i internationalt farvand (inkluderer både egne og inchartrede skibe) udgjorde 52,8 mio. tons CO<sub>2</sub>. Dvs., udledningen udgjorde 47,1 % mere end udledningen fra de 13 klimapartnerskaber til sammen. Så udfordringen er betragtelig, og løsninger kan derfor bidrage stort til den grønne omstilling af Danmark.<sup>8</sup>

Selvom rederierne de seneste år har effektiviseret og reduceret skibenes brændstofforbrug markant, er der behov for at overgå til nye brændstoffer og fremdriftsmidler. "Klimapartnerskabet for Det Blå Danmark" formulerer det som følger:

*"På trods af at den løbende optimering med kendte tiltag har givet markante reduktioner i udledningerne, er disse reduktioner blevet modsvaret af væksten i verdenshandelen. Skibene er kort sagt blevet mere klimavenlige, men fordi den globale handel og flådes størrelse vokser, er de globale udledninger af drivhusgasser fra skibsfarten ikke*

*faldet. Dette "kapløb" mellem effektiviseringer på den ene side og stigende handelsvolumen på den anden, bliver kun skærpet i det kommende årti. Her forventes rederierne at ramme et teknologisk loft og udtømme mulighederne for yderligere drivhusgasreduktioner med den nuværende teknologi, samtidig med, at der forventes en vækst på mellem 50 og 250 % for den søbårne verdenshandel frem mod 2050\*.<sup>9</sup>*

På denne baggrund udpeges grønne brændstoffer som det helt centrale element i klimapartnerskabets anbefalinger og initiativer:

*"Vi kan og skal komme så langt som overhovedet muligt med energioptimerende tiltag, men for at komme i mål i 2050, kræver det helt nye brændstoffer, som vi først er i gang med at udvikle, og dermed ikke til fulde kender i dag. Derfor er alternative, CO<sub>2</sub> neutrale drivmidler og brændstoffer også det helt centrale element i vores anbefalinger og initiativer."<sup>10</sup>*

Alkoholer, ammoniak, biometan, hydrogen, batterier er blot nogle af de relevante teknologier, men de er endnu ikke klar i den form eller skala, som kan benyttes i kommerciel skibsfart. Det kræver langsigtede investeringer og udvikling af nye teknologier. At komme dertil kræver betydelige forsknings-, udviklings- og test- og demonstrationsaktiviteter.





For at vurdere om et alternativt brændstof kan understøtte Det Blå Danmark i at reducere emissionerne, skal man ikke kun vurdere de alternative brændstoffers anvendelse ombord men også hele værdikæden. Brug af anden feedstock og brændstoffer vil kun medføre reelle klimagevinster, hvis der ikke findes alternative former for udnyttelse, som kan bidrage med større klimagevinster. Når skibsfartens aftryk på miljø og klima skal vurderes, skal alle relevante emissioner og ressourceforbrug medtages. Både indirekte og direkte miljø- og klimapåvirkninger skal opgøres ved anvendelse af anden brændstof, hvilket understreger, at Det Blå Danmark vil blive en integreret del af energisystemet.

Alternative brændstoffer er stadig et meget ungt område, hvilket understreger behovet for en styrket forskningsindsats før det er klart, hvilke brændstoffer, der bliver de bedst anvendelige. Markedspotentialet afhænger derfor af, at de helt rigtige brændstoffer - og sikkerheden omkring disse - optimeres af forskningsmiljøerne. Generelt står Danmark stærkt, både pga. forskningsmiljøerne og fordi der er et unikt samarbejde mellem sektorer.<sup>11</sup>

Teknologimodenheden og prisen bestemmer, hvor hurtigt et nyt brændstof vil være tilgængeligt på markedet. Det vil være en forudsætning, at et nyt energisystem kan give den samme eller en bedre service end den eksisterende. Det forventes at fossilt brændstof i mange år endnu vil udgøre en del af energimixet, og det er derfor ligeledes vigtigt

at forholde sig til eksisterende og kommende rammebetingelser såsom begrænsning af SO<sub>x</sub> og NO<sub>x</sub> og IMO strategier til reduktion af drivhusgasemissioner. Derudover undersøges markedsbaserede mekanismer (såsom kulstofafgift og bunkerafgift), da det at gøre brug af kulstofbaserede brændstoffer dyrere kan være en foranstaltning til at forbedre anvendelsen af teknologier til reduktion af drivhusgasemissioner.<sup>12</sup>

Grønne partnerskaber er et nyt virkemiddel i forsknings- og innovationspolitikken. Partnerskaberne har til formål, at alle relevante aktører fra forskning, erhvervsliv og myndigheder om at udføre en langsigtet og strategisk flerårig forsknings- og innovationsindsats, som skal bidrage til, at danske forskere og virksomheder er helt i front, når det gælder udviklingen af nye løsninger.<sup>13</sup> Sådanne partnerskaber understøttes for eksempel af det nyligt etablerede Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping.<sup>14</sup>

Danmarks Innovationsfond spiller en central rolle i finansieringen af den grønne omstilling, da den er med til at omsætte de politiske prioriteter til forskning og innovation, der bidrager til denne omstilling.<sup>15</sup>

I forlængelse af mini sektorudviklingsprojektet om grønne brændstoffer i Det Blå Danmark vil DTU på baggrund af rapporten afsøge europæiske og internationale finansieringsmuligheder. Konkret vil DTU

afsøge konkrete ansøgningsmuligheder ift. grønne/alternative brændstoffer i EU's rammeprogram for forskning og innovation, herunder mulighederne i European Green Deal i 2020 samt i de kommende arbejdsprogrammer af Horizon Europe. DTU vil også sammen med bl.a. relevante europæiske platforme og industri søge indflydelse på fremtidige ansøgningsmuligheder i Horizon Europe via en aktiv lobby-indsats over for Europa Kommissionen.

### Definition

Grønne brændstoffer, også kendt som ikke-konventionelle eller avancerede brændstoffer, er et hvilket som helst materiale eller stof, som kan anvendes som brændstof, og som er netto-neutrale mht. CO<sub>2</sub>-udledning og miljømæssigt bæredygtige.

Grønne brændstoffer kan være på gasform og med (Methan, CH<sub>4</sub>) og uden (Hydrogen, H<sub>2</sub>) indhold af kulstof og kan være på flydende form og med (Alkohol, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>OH og Hydrocarbon, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) og uden (Ammoniak, NH<sub>3</sub>) indhold af kulstof.<sup>16</sup>



# Anbefalinger til forskning, uddannelse og test- og demonstrationsprojekter

Grønne brændstoffer er udpeget til at være et af de primære midler til at reducere CO<sub>2</sub>-emissioner over det næste årti. I Danmark er det ambitionen, at grønne brændstoffer især skal bidrage til at reducere CO<sub>2</sub>-emissioner i især transport (specifikt i tung landtransport, oceangående skibe og fly) og i energiintensive industrier (specifikt i cement, stål og sukker).

Den største udfordring, der peges på, er at drive prisen på grønne brændstoffer ned, så den bliver konkurrencedygtig med fossile brændstoffer. Dette har en proces med sideløbende udvikling af udbuds- og efterspørgselssiden, regulering der fremme dette, industrialisering/skalering og test- og demonstrationsprojekter som forudsætning.

Dette gælder også specifikt i en sammenhæng af grønne brændstoffer i Det Blå Danmark.

## Anbefalinger til forskning

Der er lagt op til, at der på det korte sigt skal tages nogle valg af kombinationer af feedstocks, grønne brændstoffer og skibsmotorer til oceangående skibe, som på en og samme tid lever op til hensyn om (1) livscyklus og substitution af feedstocks, (2) industrialisering/skalering af produktion, distribution og lagring af grønne brændstoffer, (3) markedsudvikling, (4) sektorkobling/Smarte Energisystemer som middel til på en gang at balancere energisystemet og reducere omkostninger, bl.a. vha. digitalisering, AI og dynamiske afgifter, (5) optimering af elektrolyse- og katalyseprocesser

mhp. at reducere omkostninger og udvikle nye materialer, (6) modellering, kontrol og optimering af Power-2-X produktionsanlæg, (7) integration af distribuerede Power-2-X produktionsanlæg i elsystemet ud fra hensyn om at sikre hensyn til balance og robusthed af systemet, (8) forsyningssikkerhed af feedstocks, (9) skibsmotortekniske forhold og (10) sikkerhedsmæssige forhold.

At foretage valgene af kombinationer af feedstocks, grønne brændstoffer og skibsmotorer er ikke nogen let opgave. Dels er der behov for udvikling af viden inden for hvert af hensynene oplistet ovenfor. Dels er det kombinationen af viden om hvert af hensynene, som ultimativt kan etablere et oplyst grundlag at tage beslutning på. Det er ikke nogen let opgave at etablere et oplyst grundlag at tage disse valg på.

Efterfølgende er for hvert af de nævnte temaer kort beskrevet udfordringen og forskningsbehovet.



# 01

## Der skal forskes i optimal anvendelse af feedstocks på grønne brændstoffer i Det Blå Danmark i forhold til i andre aftagersektorer i lyset af LCA- og substitutionsanalyser

Adgangen til feedstocks bliver en central udfordring i en fremtid, hvor den globale efterspørgsel efter energi stiger i takt med befolkningstilvækst og økonomisk fremgang - og fokus på den grønne omstilling i flere sektorer. I det fossilfrie samfund vil der blive øget efterspørgsel efter grøn energi, og for biomasse og biobrændsler kan der også opstå et pres på de tilgængelige ressourcer i ind- og udland til anvendelse inden for fx fødevarer, foder, materialer og energi. Mængden af feedstocks er derfor kritisk, og det er derfor vigtigt at sikre, at den enkelte feedstock bruges der, hvor den giver mest effekt. Miljø- og klimapåvirkningerne forbundet med feedstock er typisk forbundet med produktionsfasen, men også distribution og lagring kan medføre betydelige emissioner. Særligt arealanvendelse forbundet med feedstock har miljø- og klimamæssig betydning. Tilgængeligheden af feedstock er vigtig for miljø- og klimaprofilen af et brændstof. Hvis feedstock, fx i form af biomasse, i forvejen anvendes eller udnyttes til andre formål, da vil fremstilling af grønne brændstoffer fra samme biomasse medføre indirekte klimapåvirkninger.

Der skal derfor forskes i hele aftagersektorens (konkurrerende) behov for grønne brændstoffer samt udvikling af konsistente og dokumenterede modeller til livscyklusvurdering af resourcesystemer. Der skal forskes i optimal udnyttelse af lokale vedvarende energi-, biomasse- og affaldsressourcer. Endvidere skal der forskes i livscyklusvurderingen på tværs af grønne brændstoffer med andre miljøpåvirkninger end klimaændringer (arealanvendelse og vand, økotoksicitet og partikelforurening m.m.) og systematisk fastlæggelse af miljø- og klimapåvirkninger forbundet med fremskaffelse og lagring af feedstock. Der skal forskes i livscyklusvurderinger af brændstofsyste-mer, der har fokus på det samlede brændstofsyste-m og adresserer den fulde værdi- og proceskæde. Der skal forskes i miljø- og klimamæssig regulering og incitament strukturer til understøttelse af fremstilling af bæredygtige alternativer til traditionelle fossile brændstoffer samt i kvantificering af miljø- og klimamæssige påvirkninger ved emissioner, afhængig af geografi, tidshorisont og koncentrationsniveauer.





# 02

## Der skal forskes i industrialisering/skalering af produktion, distribution og lagring af grønne brændstoffer

Ligesom en markedsudvikling er en forudsætning for at drive prisen på grønne brændstoffer ned, er industrialisering/skalering af produktion, distribution og lagring af grønne brændstoffer en vigtig forudsætning, der skal opfyldes i den henseende.

Der skal derfor forskes i, hvordan en industrialisering og skalering kan ske for de forskellige kombinationer af feedstocks og grønne brændstoffer, der er relevante for Det Blå Danmark.

Grundlæggende for industrialisering er, at feedstocks, brændstoffer, produktionsteknologi og procesanlæg udvikles koordineret. Først identificeres omkostningseffektive brændstof og produktionsteknologi-skaleringsprincipper, dernæst udvikles en sammenhængende modulær produkt- og produktionsarkitektur. Denne tillader at processen gradvist kan skaleres med større teknisk effektivitet og lavere produktionsomkostninger. Samme principper kan bruges til logistikeffektivisering i hele værdikæden fra fabrik til forbrug.





# 03

## Forskning i markedsudvikling er nødvendigt i relation til forskellige perspektiver

Det er vigtigt at forske i den konkurrencedygtige anvendelse af forskellige feedstock til at producere grønne brændstoffer. I mange tilfælde er den enkelte aftagersektor i konkurrence med andre aftagersektorer om den same feedstock. Det er sandsynligt, at en række andre aftagersektorer med relativt højere indtjeningsmargin end rederier er i stand til at betale en højere pris for grønne brændstoffer og de respektive feedstocks end rederierne. Det vil sandsynligvis resultere i en markedsstruktur med nogle få virksomheder, der har markedsstyrke (prisfastsættelse). Derfor kan det være nødvendigt med passende regulering på markedsorganisationsstadiet for at opretholde konkurrenceevnen på markedet. Virksomheder i det Blå Danmark kan derfor med fordel få klarlagt hvilke grønne brændstoffer og tilhørende feedstocks, de er i stand til at betale en pris for, som gør dem i stand til at købe disse i konkurrence med andre aftagersektorer.

Der skal derfor forskes i, hvilke kombinationer af feedstocks og grønne brændstoffer, som rederier og andre relevante virksomheder i Det Blå Danmark skal søge at gøre anvendelse af i fremtiden i lyset af virksomhedernes evne til at konkurrere på prisen på feedstocks og grønne brændstoffer med andre aftagersektorer.

**Der skal forskes i sideløbende udvikling af udbuds- og efterspørgselsiden, og regulering der kan fremme dette.**

Den største udfordring er at reducere produktionsomkostningerne og øge konkurrencen, hvilket fører til lavere priser på grønne brændstoffer. En forudsætning herfor er markedsudvikling. Markederne for grønne brændstoffer er under udvikling, forsyningskæderne er ikke fuldt udviklede og læringskurven er muligvis ikke trådt i kraft. De kan etableres med et voksende udbud og efterspørgsel. Støtteordninger kan være nødvendige i indgangsfasen på markedet ligesom for andre innovationer. Der er behov for forskning i, hvilke støtteordninger og afgifter, der sammen med miljølovgivning for fossile brændstoffer er mest økonomisk effektive i forhold til at understøtte markedsudviklingen af grønne brændstoffer. Denne viden vil også understøtte grundlaget for at vælge de relevante kombinationer af feedstocks, der kan reducere produktionsomkostningerne for grønne brændstoffer.

**Der skal forskes i markeds-mekanismer og effekten af afgifter på fossile og grønne brændstoffer, prisgarantier på grønne brændstoffer, eksklusive købsaftaler m.m.**

På nuværende tidspunkt og inden for en overskuelig fremtid vil prisen på grønne brændstoffer være højere end fossile brændstoffer. Dette er kritisk for konverteringen til grønne brændstoffer. Så længe der ikke er en holdbar business case for grønne brændstoffer, vil prisen være en barriere for anvendelsen af grønne brændstoffer.

Der skal forskes i de økonomiske, sociale og reguleringsmæssige barrierer for en øget anvendelse af grønne brændstoffer i skibstransporten, specielt brugen af grønne brændstoffer i oceangående skibe. En øget anvendelse vil føre til læringseffekter og nedbrydning af omkostninger, der kan gøre grønne brændstoffer tilgængelige til en lavere pris. Ud over økonomiske barrierer kan der være socio-politiske barrierer, der hæmmer markedsoptagelsen af grønne brændstoffer. Der er behov for forskning for at finde ud af, om disse barrierer eksisterer, og hvordan de kan sænkes.

**Der skal forskes i deling af kapitalomkostninger i produktion- og distributionsinfrastrukturen på tværs af flere producent- og aftagersektorer for at sikre rentabilitet og investeringsafkast**

Nogle af de allerstørste markedsaktører inden for brændstofforsyning lægger nødvendigheden af at dele kapitalomkostninger i produktionsapparat og infrastruktur på tværs af flere producent- og aftagersektorer til grund for valg af, hvilke kombinationer af feedstocks og grønne brændstoffer de skal vælge at arbejde med udviklingen af. Hensynet er at sikre rentabilitet og kunne lykkes med forretningsudvikling på grønne brændstoffer. Vurderingen er, at det er behæftet med for stor risiko selv at stå for samtlige investeringsomkostninger.

Rederier kan også blive forbrugere ved direkte at investere i hele eller dele af forsyningskæden for

grønne brændstoffer for at øge forsyningssikkerheden. Alternativt kan de lave eksklusive kontrakter med brændstofleverandører.

Der er derfor brug for forskning i, hvorvidt og i hvilket omfang aktørerne i producent- og aftagersektorerne faktisk kan dele investeringsomkostningerne for at reducere risikoen for enkelte virksomheder og sikre rentabilitet og forretningsudvikling.



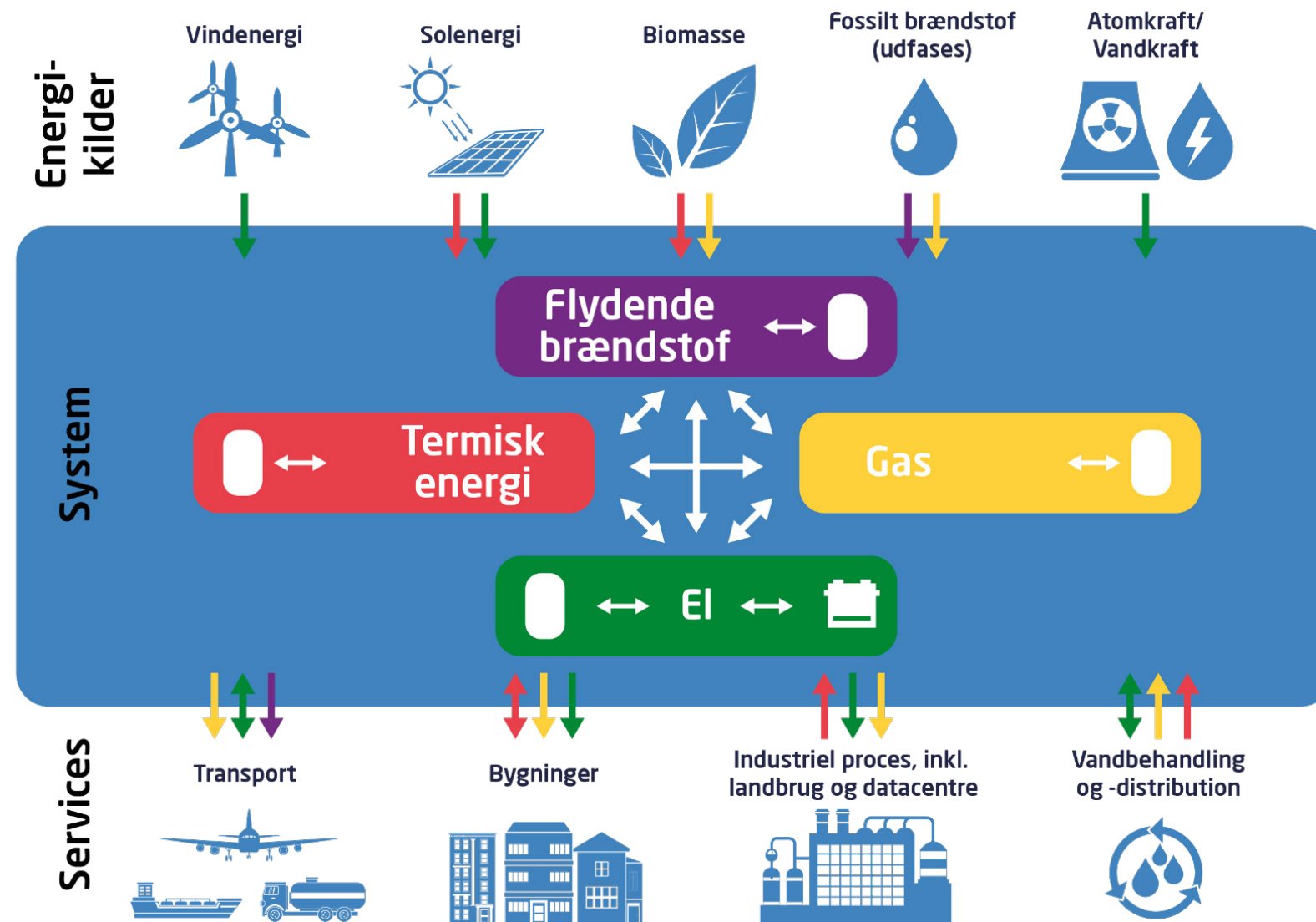
# 04

Der skal forskes i sektorkobling / Smarte Energisystemer som middel til at reducere prisen på grønne brændstoffer, bl.a. vha. digitalisering, AI og dynamiske afgifter

Den største udfordring, der peges på af aktører hen over værdikæden, er at drive prisen på grønne brændstoffer ned, så den bliver konkurrencedygtig med fossile brændstoffer. Prisen på grønne maritime brændstoffer og tilgængelige ressourcer vil være afgørende for, hvilke brændstoffer der primært vil blive anvendt. Et af midlerne til dette er at integrere produktionen, lagringen og distributionen af grønne brændstoffer med energisystemet vha. sektorkobling.

Der skal derfor forskes i, hvor i verden det vil være billigst at producere grønne brændstoffer, samt i hvilke brændstoffer, der kan produceres og udnyttes på kort sigt, og hvilke der skal videreudvikles. Der skal forskes i, om udnyttelse af vedvarende energi ressourcer (især vind) og energiinfrastruktur (el, fjernvarme og gas) muliggøre, at vi i Danmark kan levere grønne brændstoffer til den maritime sektor til konkurrencedygtige priser, og hvordan digitalisering, AI og dynamiske afgifter kan understøtte dette. Der skal derudover forskes i, hvordan en omkostningseffektiv transition til grønne brændstoffer i 2050 kan se ud, når der tages hensyn til den gradvise udskiftning af den eksisterende skibsflåde samt i robuste investeringsscenerier givet usikkerheder ved bl.a. fremtidens el- og biomassepriser.

DTU Sektorkoblingsmodellen.  
Kilde: DTU (2020): Smarte Energisystemer er vejen frem. DTU Sektorudviklingsrapport.





# 05

## Der skal forskes i optimering af elektrolyse- og katalyseprocesser mv. med henblik på at reducere omkostninger og udvikle nye materialer

Der er ikke enkelt at omstille energisystemet til grønne brændstoffer. Udfordringerne er blandt andet skalering og effektivisering af kerneteknologier som elektrolyse og katalytiske processer, der omdanner brint til andre brændsler. Der er flere forskellige bud på, hvilke grønne brændstoffer skibene i fremtiden kommer til at sejle på, og derfor er der også mange udfordringer. Der skal udvikles roadmaps for, hvordan man udvikler bæredygtige grønne brændstoffer, der kan produceres til konkurrencedygtige priser med skalerbar teknologi.

Grøn el kan både anvendes til at separere nitrogen ud af luften og producere hydrogen ved elektrolyse. Anvendelse af biomasse til at producere hydrogen er et tema i sammenhæng med grønne brændstoffer, men det er næppe en god løsning, da det økonomisk set giver mere mening at anvende biomassen til kulstofholdige syntetiske brændsler.

Syntetisk DME, metanol og metan fremstilles typisk på samme anlæg, hvor det blot er de sidste syntesetrin, der adskiller sig. Alle typer biomasse kan i princippet benyttes til fremstilling af DME og metanol via termisk forgasning af biomassen til syntese gas.

Pyrolyse af fiberholdig biomasse er en billig og robust mulighed, som samtidig er skalérbar og kan rumme en stor variation af feedstocks. Varmetilførslen kan elektrificeres med vedvarende elektricitet for at maksimere olieudbyttet. Bioolien kan

anvendes i eksisterende raffinaderiprocesser, hvor olien opgraderes til forskellige brændstofkvaliteter i kombination med grøn hydrogen. De lette gasser kan samtidig opgraderes til metan eller metanol, såfremt varmetilførslen er elektrificeret.

Biogas (primært metan) produceres ved naturlig nedbrydning af fordærvelig biomasse og kan således betragtes som bæredygtigt brændstof. Biogas produktionen kan accelereres ved at tilføje varme, tilsætte enzymer og bakterier samt optimere sammensætningen af forskellige letfordærlige biomasser. Udbyttet af biogas kan næsten fordobles, hvis indholdet af CO<sub>2</sub> metaniseres ved hjælp af brint fra elektrolyse.

Hydrogen kan fremstilles af alle kulbrinteholdige feedstocks. Men til fremstilling af brint i relation til bæredygtig energi, og fremstilling af fornybare brændsler er det kun elektrolyse af vand, der giver mening. Hvis hydrogen anvendes som feedstock til fremstilling af karbonholdige brændsler (fx ud fra CO<sub>2</sub> eller pyrolyseolie) opnås større energitæthed og mindre kompliceret lagring og tankning. Dette er attraktivt, men konverteringen medfører et energitab.

### Relevante områder at få belyst kan være:

- Hvordan optimeres sammenspillet imellem elektrolyseanlæg og vindenergiproduktionen?
- Hvordan optimeres designet af vindmøller specifikt til elektrolyse anlæg (herunder design af lavvindsmøller)?

- Kan systemdesign optimeres med nye Integrede designkoncepter af kombinerede vindmølle og elektrolyse anlæg?

I forhold til ammoniak skal der forskes i, om det er muligt at frembringe effektive skalérbare luftsepareringsteknologier samt nye katalysatorer, der tillader, at reaktionen forløber ved lavere temperaturer. Derudover skal der forskes i, hvordan ammoniak produceres mest effektivt under variabel last fra fluktuerende fornybare energikilder.

I forhold til metanol og DME skal der forskes i øget elektrisk varmetilførsel til biomasseforgasning, så der behøves mindre elektrolysehydrogen til processen. Derudover skal der forskes i at øge tilsætning af CO<sub>2</sub> fra punktkilder for at genbruge kulstof til brændstoffremstilling med elektrolysehydrogen og elektrisk varme. I forhold til metanol skal der i vid udstrækning forskes i samme problemstillinger som i tilfældet med DME.

I forhold til pyrolyseolie skal der forskes i, om bio-olien kan opgraderes kontinuerligt til højværdi bæredygtigt drop-in bio-fuel oil. Der skal forskes i hvor meget bio-olien skal opgraderes for at kunne anvendes til hhv. skibsbrændsel og flybrændstof, og om der kan udvikles en distribuerings- og lagringslogistik for rå eller delvis behandlet bio-olie.

Der skal derudover forskes i, om man kan lave mere effektive køleanlæg, så flydende biogas kan holdes koldt ombord på skibe og lastbiler uden afkogning og for stort energiforbrug.

I forhold til hydrogen skal der forskes inden for udvikling af bedre elektrolytmembran, udvikling af 3D-elektroder og forlængelse af levetid af næste generation. Derudover er forskning inden for reduceret brug af dyre/ressource-begrænsede materialer og levetid vigtig. Det er også vigtigt med forskning i mere robuste celler, som ikke degraderer under højt strømtræk og i mere robuste celler, så cellerne og stakkene kan blive større uden yderligere tab i produktionen. Derudover skal der forskes i, hvor og hvordan solid oxide electrolyse cells med fordel kan anvendes i energisystemet for at få den bedst mulige virkningsgrad og økonomi samt i, hvordan koblede systemer driftes bedst muligt under dynamisk drift fra fluktuerende fornybare energikilder.





# 06

## Der skal forskes i modellering, kontrol og optimering af Power-2-X produktionsanlæg

Antallet af Power-2-X produktionsanlæg i energisystemet i Danmark og andre lande vil i løbet af det næste årti stige. Anlæggene bliver en vigtig del af energisystemerne, og effektiviteten af energisystemerne kan blive udfordret af denne grund. Heraf følger, at modellering, kontrol og optimering af anlæggene vil få stor betydning for effektiviteten af anlæggene i sig selv og for energisystemerne som helhed.

På den baggrund skal der forskes i, hvordan hybridisering, automatisering, modularisering og styrings- og kontrolsystemer kan bidrage til at sikre så høj en effektivitet som muligt af anlæggene.





# 07

## Der skal forskes i integration af distribuerede Power-2-X produktionsanlæg i elsystemet ud fra hensyn om at sikre hensyn til balance og robusthed af systemet

Det voksende antal Power-2-X produktionsanlæg vil også have betydning for balanceringen og robustheden af energisystemet. På en og samme tid vil anlæggene udfordre den fortsatte balancering og robusthed, fordi de vil være distribuerede, og gøre det ud for en mulighed for fortsat balancering og sikring af robustheden, fordi de muliggør udvikling og anvendelse af netservices, der kan bidrage til, at disse to hensyn opfyldes.

Der skal derfor forskes i nye markedsdesign principper, indtægtsgenerering (monetarisering)/ modeller for deling af ressourcer og sikring af robusthed af energisystemer.





# 08

## Der skal forskes i forsyningsikkerhed af feedstocks

En høj forsyningsikkerhed af feedstocks, der kan sikre en stabil energiforsyning, er kritisk for udviklingen af grønne brændstoffer. Vindkraft, solenergi og biomasse og andre vedvarende energikilder er allerede konkurrencedygtige - eller tæt på - i forhold til fossile energikilder. Men både vindkraft og solenergi er vejrafhængige, og forsyningsikkerheden varierer i forhold til skift i vejret. Derudover er biomasse ofte en decentral ressource. Et skifte til en energiforsyning baseret på vedvarende energi er derfor ikke uden forsyningsikkerhedsmæssige udfordringer. Kulstof er også essentielt for det liv, vi lever i dag. Ud over biomasse er CO<sub>2</sub> den eneste kulstofkilde. Sammen med hydrogen er CO<sub>2</sub> en helt nødvendig del af fødekæden til Power-2-X teknologier til fremstilling af brændstoffer.

Der skal derfor forskes i forskellige feedstocks samt tilgængeligheden af dem. Der skal forskes i, hvordan vedvarende energi kan lagres på mindre plads, og i hvordan variabiliteten nedbringes fx gennem kombination af flere energiformer. Der bør forskes i "hybrid anlæg" (kombination af evt. sol med vind og lagring) samt i anlæg, der kombinerer sol- og vindenergi med produktion af hydrogen og CO<sub>2</sub> og udnyttelse heraf til Power-2-X produkter, samt hvorledes disse anlæg optimeres. Der bør forskes i, hvordan der laves billigere vindmøller og -parker og mølleteknologi direkte designet til Power-2-X, således at samspillet mellem elektrolyseanlæg og vindenergiproduktionen optimeres. I forhold til biomasse bør der forskes i, hvordan pelleteringsprocessen effektiviseres, så den er mindre energikrævende og mere robust.





# 09

## Der skal forskes i skibsmotortekniske forhold med betydning for anvendelsen af grønne brændstoffer

Store marinemotorer er højtudviklet til brændstofeffektiv og pålidelig fremdrift af skibe. De er optimeret for høj virkningsgrad og til at udnytte brændstof af dårlig kvalitet og at have lang levetid med lange serviceintervaller. De skibsmotortekniske forhold er vigtige, da forskellige typer af grønne brændstoffer har forskellige påvirkninger af skibsmotoren. Derved kan der være forskellige afledte effekter. Som alternativ til forbrændingsmotorer kan brændselsceller anvendes.

Normalt anses brændselsceller for væsentligt mere effektive end forbrændingsmotorer, men sammenligningen sker gerne på mindre drivlinjer på op til nogle hundrede kW (fx busser og lastbiler). På det maritime område, hvor motorerne er meget større og som følge deraf kan have markant større virkningsgrad, er effektivitetsargumentet ikke længere så stærkt. Der skal forskes i konvertering af den eksisterende flåde til grønne brændstoffer samt i de afledte emissioner ved brug af anden brændstof end fossilt. Herunder skal der forskes i iblanding samt i mængden af grønne brændstoffer (fx metanol) i fuel oil og konsekvenser for brændstofsyste og drift af motoren samt andre emissioner. Der skal forskes i, om SOFC (solid oxide fuel cells) vil være et kostoptimalt alternativ til konventionelle skibsmotorer, og om der kan opnås tilstrækkelig pålidelighed og levetid for SOFC.

Grønne brændstoffer i skibsmotorer giver forskellige udfordringer, som kalder på nye metoder for modellering, forecasting, styring og optimering. For ammoniak er der specielt udfordringer med lattergas, og der er behov for grundlæggende nye modeller og metoder til at minimere koncentrationerne af lattergas. Det er vigtigt at udvikle ny viden om processerne (fx Otto processen), således at motorerne er tolerant overfor forskellige typer af grønne brændstoffer. Et par generelle fokusområder er lambda control, men da en lang række faktorer påvirker lambda værdien, er der behov for forskning i nye modeller og modelbaserede optimeringsmetoder. Der er også behov for forskning i software sensorer, som kan bruges ifm. auto tuningen af fremtidens 4-takts motorer. Ligeledes er der krav til emissioner, som gør, at der er behov for forskning i multivariate data-intelligent proceskontrol, og med en løbende feedback fra emissioner.





# 10

## Der skal forskes i sikkerhedsmæssige forhold med betydning for anvendelsen af grønne brændstoffer

Skibssikkerhedsmæssige forhold omfatter sikkerheden ombord herunder sikkerheden for besætningsmedlemmer. Nye brændstoffer vil introducere andre områder såsom giftighed, der skal påtænkes i forhold til sikkerheden både med hensyn til håndteringen og opbevaringen. Ammoniak stiller fx store krav til sikkerheden og uddannelsen af besætningen, når det bruges som kølemiddel. Men erfaringer viser, at med gode sikkerhedsstandarder og en godt uddannet besætning kan risikoen for uheld minimeres.

Der skal forskes i sikkerheden i forhold til en ny værdikæde mhp. brændstoffer både med henblik på sikkerheden ombord, ved lækage samt ved bunkeranlæg. Der skal forskes i, om der er særlige hensyn at tage til motorens brændstofs system i forhold til de forskellige mulige grønne brændstoffer samt behovet for alarmeringssystemer og uddannelse.





## Anbefalinger til uddannelse

Mange af udfordringerne forbundet med grønne brændstoffer skal imødegås af teknologier, der har tværfaglig forskning og innovation som forudsætning. Det gælder fx krydsfelter mellem fagligheder, der er nødvendige for produktion af de enkelte grønne brændstoffer på baggrund af de enkelte feedstocks.

Og det gælder at kombinere fagligheder om skibsmotortekniske forhold, sikkerhed, reduktion i udledning af CO<sub>2</sub> og i energiforbrug, livscyklusanalyser, forhold om afgifter, sektorkobling og forretning mhp. at udvikle et samlet grundlag at vurdere værdien af grønne brændstoffer i forhold til hinanden og i forhold til fossile energiformer som bunkerolie. På denne baggrund fremkommer et forslag om uddannelse og et forslag om efteruddannelse.

**Det anbefales at udvikle tværfaglige uddannelsstilbud, som giver studerende kompetencer i en række af de krydsfelter af fagligheder, der skal mestres for at løfte udfordringerne.**

**Det anbefales at udvikle tilbud om efteruddannelse til alle parter i sektoren, både dybt i hvert led i værdikæden og bredt hen over værdikæden for produktion, distribution og lagring af grønne brændstoffer samt i relevante aspekter af at integrere disse aktiviteter i det samlede Smarte Energisystem.**



## Anbefalinger til test- og demonstrationsprojekter

Som sagt er den største udfordring at drive prisen på grønne brændstoffer ned, så den bliver konkurrencedygtig med fossile brændstoffer. Industrialisering/skalering er et centralt middel til dette, og her er afprøvning af grønne brændstoffer i skibsmotorer og afprøvning af integration af Power-2-X produktionsanlæg i det samlede energisystem vha. sektorkobling (Smarte Energisystemer) i test- og demonstrationsprojekter afgørende.

Fx er brint meget svært at håndtere sikkert og effektivt ombord og har nye kryotekniske tanke ombord som forudsætning. Og til ammoniak knytter der sig nye ubesvarede spørgsmål mht. betydningen af langsom forbrænding og potentielt betragtelige CO<sub>2</sub>-udledninger i efterbehandlingssystemer.

Heraf fremkommer følgende anbefaling til test- og demonstrationsprojekter om afprøvning af grønne brændstoffer i skibsmotorer.

**Det anbefales at afprøve grønne brændstoffer i skibsmotorer i test- og demonstrationsprojekter, hvor der testes bunkeringsproces, opbevaring i brændstoftanke, brændstofs-systemer, forbrændingsmetode, motorteknik, efterbehandling af udstøds-gas og sikkerhedsforhold**

Skal integrationen af Power-2-X produktionsanlæg i det samlede energisystem vha. sektorkobling kunne bidrage til at drive prisen på grønne brændstoffer ned, er det nødvendigt med ændrede rammebetingelser i form af dynamiske afgifter og nettariffer. De ændrede rammebetingelser skal understøtte, at Smarte Energisystemer skaber den fornødne fleksibilitet og fungerer så effektivt som muligt målt både på reduktion i CO<sub>2</sub>-udledninger og omkostninger.

For fremtidig fleksibilitet i Smarte Energisystemer er det en vigtig problemstilling at sikre, at alle typer af forbrugere får et økonomisk incitament til at agere fleksibelt eller investere i teknologi og apparater, der kan sikre automatisk reaktion. Dette indebærer, at faste priser, faste tariffer og specielt abonnementsordninger er meget uhensigtsmæssige og bør undgås.

Heraf fremkommer en anbefaling om afprøvning af dynamiske afgifter i test- og demonstrationsprojekter, der kan bidrage til at fremme sektorkobling og den videre udvikling af Smarte Energisystemer.

**Det anbefales, at der gennemføres forskning i og afprøvning af dynamiske afgifter baseret på virkelige testområder med realistiske forhold og forskelligartede rammebetingelser, herunder alternative markedsdesign og afgifter. Det er vigtigt, at disse sandkasseprojekter for test af rammebetingelser er både skalérbare og repræsentative.**



Verdens største havnes tilgang til produktion, lagring og distribution af grønne brændstoffer samt forskningsstrategier herfor

“De største havne i verden har igangsat en energitransition, der er nødvendig for at overleve den stigende internationale konkurrence fra andre havneområder og for at efterleve IMO aftalerne om reduktion af udledninger af CO<sub>2</sub> og svovl”



## Singapore

Med 5000 maritime virksomheder og 170.000 arbejdspladser, der tilsammen genererer 7 % af landets BNP, er det maritime område højt prioriteret i Singapore. Derfor har landet udviklet et roadmap for maritim transformation med visionen om at gøre Singapore til et center for excellence inden for energi- og miljøvenlige løsninger. Havnen i Singapore skal fremover kunne understøtte en kombination af grønne brændstoffer. På kort sigt vil den kombination bl.a. inkludere LNG, LPG og

biodiesel iblandet konventionelle brændstoffer. På længere sigt er der fokus på bio-LNG, biodiesel fra 3. generation feedstocks som mikroalger, biometanol og hydrogen brændselsceller fra vedvarende ikke-biologiske energikilder som sol og vind.<sup>17</sup>

I en rapport fra Nanyang Technological University, der huser et forskningscenter inden for maritim energitransition og bæredygtighed, bliver udvikling af 3. generations feedstock til produktion af biodiesel, hydrogen brændselsceller og udvidelse af biometanol produktionen fremhævet som frem-

tidige forskningsområder. Derudover er der behov for forskning inden for sikker opbevaring af de grønne brændstoffer, håndtering af biprodukter og ikke mindst, hvordan man kan opnå en pålidelig og bæredygtig forsyning af feedstock, når der samtidig er konkurrence fra andre sektorer som fx flyindustrien.<sup>18</sup> Singapores myndigheder har også støttet udviklingen af et LNG drevet fartøj, der begyndte at sejle i 2018.





## Rotterdam

Rotterdam er den største og travleste havn i Europa, en arbejdsplads for 200.000 mennesker og hjemsted for det største petrokemiske kompleks i Europa. Samtidig udleder havnen 20 % af Hollands drivhusgasser. Visionen er derfor at udvikle en carbon-neutral og cirkulær havn, hvor CO<sub>2</sub> udledninger er reduceret med 49 % i 2030 og helt op til 90 % i 2050. Det skal bl.a. ske gennem udviklingen af et Smart Energisystem til havnens fabrikker, hvor olie og gas på sigt bliver udskiftet med elektricitet og

grøn hydrogen fra solpaneler og offshore vindturbiner. Der er allerede ved at blive gjort plads til de nye vedvarende energikilder i havnens område. Samtidig skal de fossile brændstoffer til skibene udskiftes med biomasse, genanvendte materialer og grøn hydrogen.

Rotterdam huser Europas største klynge af fabrikker, der producerer biobaserede brændstoffer og kemiske produkter ud af vegetabiliske feedstocks som majs. I forbindelse med energitransitionen kommer både skibe og havnens industri til at

have adgang til en kombination af grønne og fossile brændstoffer.<sup>19</sup>

Samtidig er der planer om at opfange CO<sub>2</sub> fra havnens område, som skal opbevares i lommer under Nordsøen. Havnen i Rotterdam har også indgået et samarbejde med en række virksomheder om udvikling af batteridrevne containerskibe til sejlads på landets mange floder og kanaler.<sup>20</sup> Energitransitionen er også på vej på den anden side af grænsen i den belgiske havneby Antwerpen, der i 2019 åbnede en bunkering station for hydrogen.<sup>21</sup>



## Shanghai

Storbyen Shanghai ligger centralt placeret ved det store Yangtze delta, hvor Kinas og verdens største containerhavn forbinder en af verdens hurtigst voksende økonomier med resten af verden. Overordnet ønsker Kina at opnå carbon neutralitet i 2060, og de er medunderskriver af IMO aftalen om halvering af den globale shippingsektors udledning af drivhusgasser frem mod 2050. De kinesiske havne har sat særligt fokus på reduktion af luftforurening og især udledning af svovl. I Shanghai og 10 andre

store havnebyer er der derfor indført særlige udlednings kontrolområder, som gør, at skibene bliver pålagt at bruge brændstoffer, der indeholder mindre end 0,5 % svovl. Derudover tilbyder kinesiske havne renere energikilder i havneområderne til de skibe, der ankommer.<sup>22</sup>

Blandt de grønne brændstoffer, der er fokus på i Kina, er metanol. Det kinesiske transportministerium samarbejder med den globale handelsassociation the Methanol Institute og en række af verdens største metanolproducenter om udvikling

af metanol som marint brændstof samt et roadmap for dette brændstof.<sup>23</sup> Kina er verdens største skibsbygger og lancerede i 2017 verdens første elektriske nulemissionsskib, der kan sejle 80 km efter to timers opladning.<sup>24</sup>



# Danmark som lokation for test- og demonstrationsprojekter

I Klimapartnerskabsrapporten om Det Blå Danmark formuleres en ambition om at få et nul-emission skib ud at sejle i 2030.

En forudsætning for at dette kan ske er naturligvis excellent forskning og innovation, som igen er betinget af test og demonstrationsprojekter, der i bedste fald omfatter aktiviteter hen over den samlede værdikæde for grønne brændstoffer.

Det er derfor relevant at undersøge, hvad kvaliteten er af aktiviteterne i Danmark hen over den samlede værdikæde for grønne brændstoffer og på den baggrund fremkomme med en vurdering af Danmark som lokation for test- og demonstrationsprojekter.

Værdikæden strækker sig over følgende aktiviteter:

- Vindmøller (grøn el) eller landbrug mv. (biomasse) eller industri (CO<sub>2</sub> fra punktkilde eller luft)
- Havne og energiøer (lagring og/eller produktion og distribution)
- Elektrolyse og katalyse mv.
- Brændselsceller
- Det Blå Danmark (skibsmotorudviklere, den øvrige maritime industri og rederier)
- Forskning
- Offensiv dagsordensættende regulering om grøn omstilling af Det Blå Danmark

Følgende er et forsøg på at anskueliggøre kvaliteten af aktiviteter i Danmark hen over værdikæden med udgangspunkt i danske virksomheder og offentlige myndigheder.

## Vindmøller, landbrug og industri

Når Danmark roser sig af en international førerposition inden for vedvarende energi, er der noget om snakken. For som land har vi gjort det godt over de seneste årtier. I forhold til niveauet i 1990, som er basisåret i de årlige internationale klimaforhandlinger, er Danmark det land, der har været i stand til at omstille sig mest fra fossile brændsler til vedvarende energikilder.<sup>25</sup>

Det skyldes ikke mindst udviklingen af vindmøleteknologi og særligt, at det er lykkedes gradvist at drive prisen på vindmøleteknologi ned og kW kapaciteten op. Her står Danmark ekstremt stærkt, hvilket afspejles i at:

- I 2019 omsatte den danske vindmøllebranche for 142,6 mia. kr. Dette er et samlet fald på 7,5 mia. kr. fra 2018, men den industrielle del af vindmøllebranchen øgede omsætningen 10 mia. kr. fra 2018 til 2019.
- Eksporten af vindenergiteknologi og -services lå i 2019 på 66,5 mia. kr., hvilket gør vindenergi til den enkeltstående vigtigste teknologi for dansk energiteknologi-eksport, der i 2019 lå på 122,6 mia. kr.

- I 2019 var antallet af fuldtidsbeskæftigede i vindmøllebranchen på 33.159 årsværk. Dette er en mindre fremgang på 1 % sammenholdt med 2018, hvor 32.774 var beskæftigede i vindmøllebranchen.<sup>26</sup>

Dansk landbrug er i international sammenligning meget effektivt og konkurrencedygtigt. Dette gælder også mht. biomasse. Blot gælder det, at hele 43 % af biomassen, der anvendes i Danmark, importeres. Samtidigt er forbruget af biomasse per indbygger i Danmark meget højt i international sammenligning.<sup>27</sup> Dette stiller spørgsmålstegn ved forsyningssikkerheden for biomasse og dermed ved sikkerheden for, at biomasse kan indgå i tilpas store mængder som feedstock i produktionen af grønne brændstoffer, som vil stige over tid.

Også dansk industri er i international sammenligning meget effektivt og konkurrencedygtigt og allerede dybt integreret i det samlede energisystem, både som energiforbruger og som bidrager til at balancere energisystemet, når det skal tage højde for fluktuationerne i produktionen af vedvarende energi. Særligt som bidragsyder af CO<sub>2</sub> som feedstock fra punktkilde, kan man formode, at dansk industri, såfremt man får de rette rammebetingelser, vil kunne bidrage til produktionen af grønne brændstoffer.



### Havne og energier (lagring og/eller produktion og distribution)

Den danske havneinfrastruktur er i almindelighed meget veludviklet. Følgende havne synes særligt relevante for produktion, lagring og distribution: Aalborg Havn, Esbjerg Havn, Fredericia Havn, Rønne Havn og Århus Havn. Den planlagte etablering af to energier - en i Nordsøen og en ved Bornholm - er interessante initiativer, der har potentiale til yderligere at styrke infrastrukturen om produktion, lagring og distribution af grønne brændstoffer, her særligt fra feedstock'en grøn el.<sup>28</sup>

### Elektrolyse og katalyse

I Danmark er elektrolyse og katalyse særligt repræsenteret ved virksomheden Haldor Topsøe, som med afsæt i en ledende position inden for, hvordan man vha. teknologier kan reducere CO<sub>2</sub>-udledning, har sat som strategisk mål at være verdensledende inden for denne forretningsaktivitet i 2024.<sup>29</sup>

### Brændselsceller

Udvikling og produktion af brændselsceller i Danmark er repræsenteret ved virksomheden IRD Fuel Cells.

### Det Blå Danmark (skibsmotorudviklere, den øvrige maritime industri og rederier)

Det Blå Danmark er blevet udpeget som én af de tolv danske styrkepositioner af Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse, som ligger under Erhvervsstyrelsen. Ifølge Erhvervsstyrelsen skal

en styrkeposition ses som et erhvervs- og teknologiområde, som i kraft af global specialisering og konkurrencedygtighed kan bidrage mere til Danmarks vækst end andre erhverv.<sup>30</sup>

Danmark har alle led i den maritime kæde, lige fra skibsdesignere over værfter og maritime leverandører til rederier, shipping- og servicevirksomheder. Synergien i de blå erhverv bidrager til, at Danmark har skabt en global styrkeposition på det maritime område. Danske virksomheder har internationale styrkepositioner inden for mange af det maritime økosystems områder. Dertil er Danmark en stærk international spiller med aktiviteter inden for stort set alle skibsfartssegmenter, herunder navnlig containerfragt, tank, bulk, og offshore-relaterede aktiviteter inkl. havvind.<sup>31</sup>

Den danske maritime industri er på forkant i produktionen af avancerede og energieffektive løsninger til både danske og udenlandske skibe samt maritime virksomheder i hele verden. Lige fra design til produktion og service har industrien opbygget og udnyttet kompetencer og knowhow om den maritime verdens behov og teknologiens muligheder.<sup>32</sup> Danmark har dertil en række af verdens førende maritime udstyrsproducenter, inden for blandt andet motorer, overfladebehandling, sikkerhedsudstyr og grøn maritim teknologi. Endvidere har Danmark en række specialiserede værfter, som i forhold til design og kvalitet er særdeles konkurrencedygtige.<sup>33</sup>

Sidst men ikke mindst har Danmark med MAN Energy Solutions en virksomhed, som har udviklet 80 % af de skibsmotorer, der sidder i oceangående skibe, og med stærkt konkurrencedygtige rederier som Maersk, Torm, Norden, DFDS og Scandlines er der en ekstremt stærk kvalitet på efterspørgselsiden af udviklingen af skibsmotorer, der kan anvende grønne brændstoffer.

### Forskning

Dansk maritim forskning er af meget høj kvalitet sammenlignet med forskning fra andre traditionelle maritime nationer. Resultater fra tidligere analyser viser, at danske maritime forskningspublikationer har haft en højere gennemslagskraft end publikationer fra Tyskland, Norge, Holland og Grækenland, blandt andet er den Maritime Logistik forskning på DTU blandt verdens top 3.<sup>34</sup> Dansk maritim forskning har stor videnskabelig gennemslagskraft med en række markante styrkepositioner. Dette har givet den danske maritime sektor en stærk teknologisk konkurrencefordel.<sup>35</sup>

Danmark har ligeledes en førerpositionen inden for forskning og udvikling af energiteknologier. Danske forskningsinstitutioner og teknologivirksomheder har godt fat særligt inden for vindteknologi, bioteknologi, fødevarer- og lydteknologi<sup>36</sup>. Danmarks styrkeposition inden for bioteknologi kan derfor sættes endnu mere i spil i den grønne omstilling. Der er rigtig mange muligheder inden for det bioteknologiske område - og der er helt





klart teknologier, der vil have større effekt på den grønne omstilling end andre. Senest har Power to X-teknologien skabt helt nye muligheder. Forskning i energilagring og -konvertering er en af de helt centrale discipliner her, og på dette område står dansk forskning i almindelighed og forskning på DTU i særdeleshed meget stærkt. Således er 36 % af Danmarks videnskabelige artikler på området blandt de 10 % mest citerede artikler i Verden, og kvaliteten af dansk forskning ligger langt over verdensgennemsnittet (2,7 gange højere). Kvaliteten af forskning i energilagring og -konvertering på DTU ligger hele 3 gange over verdensgennemsnittet. Til sammenligning ligger almindeligvist førende forskningsnationer som USA og Storbritannien på hhv. 2,4 og 2,3.<sup>37</sup>

Aktuelt forskes der også på DTU fx i enzymers og mikroorganismers evne til ikke bare at binde CO<sub>2</sub> fra luften, men også til at konvertere CO<sub>2</sub> med hjælp fra de elektroner der genereres fra f.eks. vindmøller og omdanne den til biobaserede kemikalier, foder og måske endda også fødevarer.<sup>38</sup> Og FCH Test Center (Fuel Cell and Hydrogen) giver industrien indenfor brændselsceller og hydrogen-teknologier adgang til avanceret test og demonstration af komponenter og systemer<sup>39</sup>.

DTU er verdensførende indenfor livscyklusanalyse af produkters miljøpåvirkning<sup>40</sup>, hvilket er en kompetence der er helt central når den grønne omstilling for det Blå Danmark skal løses.

Danmarks tidlige satsning på vindenergi er resulteret i, at danske virksomheder og offentlige forskere i dag besidder en unik viden om systemer, der kan håndtere udsving i produktion og forbrug af energi. Jvf. flere rapporter<sup>41</sup> så er Danmark det land i EU, der har iværksat flest smart grid-projekter. Jvf. EU-Kommissionens rapport 'Smart Grid Projects in Europe' indtog Danmark en førsteplads med 80 registrerede smart grid-projekter med et demonstrationsbudget på mindst 1 mio. euro, mens Tyskland lå nummer to på listen med omkring 40 projekter.<sup>42</sup>

EU-kommissionens Joint Research Center identificerede i 2014 DTU som den organisation i Europa med flest F&U-aktiviteter inden for området. Og Deloitte identificerede i 2017 intelligente energiløsninger som det energiteknologiske område med det største markedspotentiale for dansk industri.<sup>43</sup> Aktuelt har DI sammen med 24 virksomheder sat et strategiudviklingsprojekt i gang, der i første kvartal af 2021 skal resultere i en national strategi for sektorudvikling.<sup>44</sup> Så Danmark er i dag langt fremme inden for sektorkobling. Det er en stor mulighed, når sektorkobling er et af de vigtige midler til at drive prisen på produktion, lagring og distribution ned.

Samtidig er det en fordel, at der i Danmark allerede er et antal test- og demonstrationsprojekter i gang inden for sektorkobling. Bl.a. er der PowerLabDK, der er et af verdens førende testlaboratorier for

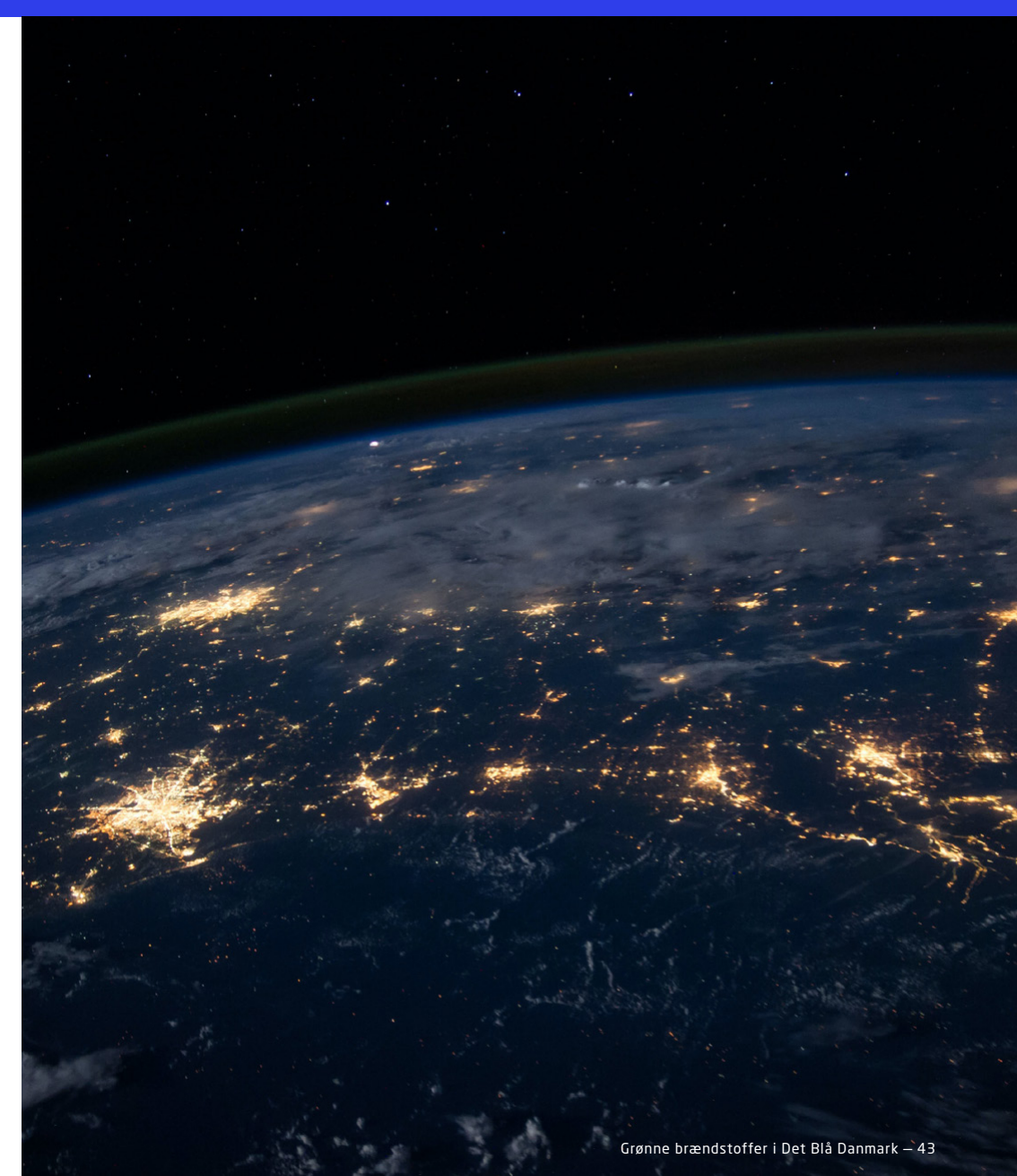
energisystemer. Her kan virksomheder, organisationer, studerende og forskere fra ind- og udland udvikle og teste fremtidens el- og energi-teknologiske løsninger i stor skala<sup>45</sup>. Det samme gælder Nordhavn<sup>46</sup> i København og Bornholm-som-energi<sup>47</sup> projekterne, Center Danmark og Unil-lab.dk i Trekantsområdet<sup>48</sup> samt GreenLab Skive.<sup>49</sup>

### Offensiv dagsordensættende regulering om grøn omstilling i Det Blå Danmark

Erhvervsministeriet har med Søfartsstyrelsen historisk været dagsordensættende for international regulering om grøn omstilling inden for skibsfart. Inden for de sidste 10-20 år gælder det fx indsatser om skibsmaling og CO<sub>2</sub>-emissioner fra skibsfarten. Mens Søfartsstyrelsen naturligvis deler indflydelse med lignende styrelser i andre store søfartsnationer, så har styrelsen afgjort evnet at maksimere sin indflydelse internationalt fx i IMO og EU. Den mulighed foreligger også inden for regulering mhp. fremme af grønne brændstoffer.

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet har historisk været instrumentel og dagsordensættende mht. reduktion i CO<sub>2</sub>-udledning, hvilket reflekteres i, at Danmark som sagt er det land i Verden der har været i stand til at omstille sig mest fra fossile brændsler til vedvarende energikilder<sup>50</sup>, og er det mest energiteknologi eksportspecialiserede EU land. Sidstnævnte mål er udtryk for en klar konkurrencefordel. Senest har ministeriet med Regeringens Energi aftale fra juni 2019 og med iværksæt-

telsen af de 14 klimapartnerskaber sat endnu flere sejl på indsatsen. En dagsordensættende politisk beslutning, der vil fremme den grønne omstilling til grønne brændstoffer, er, at Regeringen og et bredt flertal i Folketinget har indgået aftale om Nordsøens fremtid, der bl.a. indebærer en slutdato i 2050, hvorefter der ikke længere kan indvindes olie og gas, og en endelig aflysning af 8. udbudsrunde.<sup>51</sup> Og sidst men ikke mindst har Regeringen med sin forskningsstrategi og med udpegelsen af grønne brændstoffer i transport- og industrisektoren og Carbon Capture og Storage som to af 4 missioner signaleret, at grønne brændstoffer står højt på dagsordenen i dette årti.





## Appendiks 1: Medlemmer af styregruppe og arbejdsgruppe samt interviewpersoner/deltagere i workshop

### Medlemmer af styregruppen

Center direktør Morten Willaing Jeppesen, DTU Centret for Olie & Gas

Instituddirektør Per B. Brockhoff, DTU Compute

Instituddirektør Søren Linderøth, DTU Energi

Instituddirektør Jane Hvolbæk, DTU Fysik

Instituddirektør Erling Halfdan Stenby, DTU Kemi

Instituddirektør Kim Dam-Johansen, DTU Kemiteknik

Instituddirektør Mette Wier, DTU Management

Instituddirektør Hans Nørgaard Hansen, DTU Mekanik

Instituddirektør Claus Helix-Nielsen, DTU Miljø

Konstitueret instituddirektør Henning Skriver, DTU Space

Instituddirektør Peter Hauge Madsen, DTU Vind

Koncerndirektør Marianne Thellersen, DTU (formand)

### Medlemmer af arbejdsgruppen

Seniorforsker Karen Louise Feilberg og seniorforsker og Advisor Simon Ivar Andersen, DTU Centret for Olie & Gas

Professor Henrik Madsen, DTU Compute

Professor Jacob Østergaard, DTU Elektro

Seniorforsker Shi You, DTU Elektro

Seniorforsker Henrik Lund Frandsen og professor Jens Oluf Jensen, DTU Energi

Lektor Jakob Kibsgaard, DTU Fysik

Professor Anders Riisager, DTU Kemi

Professor Anker Degn Jensen og seniorforsker Jesper Ahrenfeldt, DTU Kemiteknik

Professor Harilaos N. Psaraftis, Professor Marie Münster og Ph.d. studerende Nicolas Jean Bernard Campion, DTU Management

Professor Anders Christiansen Erlandsson og lektor Anders Ivarsson, DTU Mekanik

Professor Thomas Fruergaard Astrup, DTU Miljø

Seniorforsker Jens Olaf Pepke Pedersen og professor Ole Baltazar Andersen, DTU Space

Sektionsleder Hans E. Jørgensen, DTU Vind

Specialkonsulent Kasper Dam Schultz, DTU APR

Chefkonsulent Lars Brückner og specialkonsulent Louise Nolle, DTU AFRI

Centerleder Mette Sanne Hansen, DTU Maritime/Management (leadprofessor)

Chefkonsulent Mads H. Odgaard (projektleder), DTU AFRI

### Interviewede personer/deltagere i workshop - i virksomheder og offentlige institutioner

Udviklings- og HR-chef Jesper Raakjær, Aalborg Havn

Technical director Valdemar Ehlers, Danish Maritime

Chefkonsulent Bo Larsen, Danish Shipping

Head of Technical Affairs Per Winther Christensen, Danish Shipping

Direktør Frank Rosager, Dansk Biogas

R&D director Pat A Han, Haldor Topsøe

Senior director R&D Poul Georg Moses, Haldor Topsøe

Senior director business development Tore Sylvester Jeppesen, Haldor Topsøe

Head of Technical Innovation Jacob Sterling, Maersk

Vice president Ole Graa Jakobsen, Maersk

Head of Emission Reduction Departement Dorthe Marie Sveistrup Jacobsen, MAN Energy Solutions

Senior Manager Michael F. Pedersen, MAN Energy Solutions

Head of Engine Process Research Stefan Meyer, MAN Energy Solutions

Head of Maritime Application and Viability Tue Johannessen, Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping

Head of Fuel Efficiency & Decarbonisation Henrik Røjel, Norden

Bioøkonomichef Lars Villadsgaard Toft, SEGES/Landbrug & Fødevarer

Hans Otto Kristensen, Selvstændig erhvervsdrivende

Chefkonsulent Palle Kristensen, Søfartsstyrelsen

Chefkonsulent Thomas Blomgren-Hansen, Søfartsstyrelsen

Technical Operating Officer Anne Zachariassen, Århus Havn

Bæredygtighedsingeniør Mads Søgaard, Århus Havn



## Noter

1. <https://soefartsstyrelsen.dk/vaekst-and-rammevilkaar/maritim-erhvervspolitik/det-blaa-danmark>
2. COWI/Søfartsstyrelsen (2019): Beskæftigelse og produktion i Det Blå Danmark 2018.
3. [http://coe.ntu.edu.sg/MESD\\_CoE/Research/project\\_showcase/Documents/mesd-afis-report-140420-spreads-low-res.pdf](http://coe.ntu.edu.sg/MESD_CoE/Research/project_showcase/Documents/mesd-afis-report-140420-spreads-low-res.pdf)
4. Klimapartnerskabet for Det Blå Danmark: Vejen mod en mere klimavenlig skibsfart, p. 5.
5. <https://transporttidende.com/artikler/tilvands-c54/skou-bliver-formand-for-nyt-klimapartnerskab-p50142>
6. <https://www.mmf.dk/nyheder/item/258-kursener-sat-mod-halvering-af-skibsfartens-co2-udledning>
7. <https://www.berlingske.dk/virksomheder/maersk-traeffe-historisk-klima-valg-her-er-fremtidens-braendstof>
8. Klimapartnerskabet for Det Blå Danmark: Vejen mod en mere klimavenlig skibsfart, p. 12.
9. Klimapartnerskabet for Det Blå Danmark: Vejen mod en mere klimavenlig skibsfart, p. 23-24.
10. Klimapartnerskabet for Det Blå Danmark: Vejen mod en mere klimavenlig skibsfart, p. 20.
11. <https://www.dtu.dk/om-dtu/tal-og-analyser/analyser-Damvad-Analytiks-Samfundsokonomien-i-gronne-forskningsinvesteringer>
12. [http://coe.ntu.edu.sg/MESD\\_CoE/Research/project\\_showcase/Documents/mesd-afis-report-140420-spreads-low-res.pdf](http://coe.ntu.edu.sg/MESD_CoE/Research/project_showcase/Documents/mesd-afis-report-140420-spreads-low-res.pdf)
13. <https://ufm.dk/publikationer/2020/filer/1-fremtidens-gronne-losninger-strategi-for-investeringer-i-gron.pdf> p. 26.
14. <https://zerocarbonshipping.com/>
15. <https://ufm.dk/publikationer/2020/filer/1-fremtidens-gronne-losninger-strategi-for-investeringer-i-gron.pdf> p. 26.
16. IEA Experts' Group on R&D Priority Setting and Evaluation - EGRD (2019): Green Fuels - Executive Summary, p. 2.
17. Singapore R&D Roadmap 2030 Maritime Transformation (2020), Singapore Maritime Institute & MPA Singapore
18. Alternative Fuels for International Shipping (2020), Maritime Energy & Sustainable Development Centre of Excellence, NTU
19. <https://www.portofrotterdam.com/en/our-port/our-themes/a-sustainable-port/sustainability>
20. <https://www.electrive.com/2020/06/04/battery-swapping-for-dutch-container-ships/>
21. <https://safety4sea.com/port-of-antwerp-eyes-hydrogen-bunkering/>
22. <https://chinadialogueocean.net/13818-china-enters-a-new-low-sulphur-shipping-era/>
23. <https://www.offshore-energy.biz/methanol-institute-joins-chinas-study-of-methanol-as-marine-fuel/>
24. <https://www.sciencealert.com/world-first-completely-electric-cargo-ship-china>
25. Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet (2018): Danmark som foregangsland på energi og klima. Status på den grønne omstilling.
26. <https://winddenmark.dk/node/1132>
27. The Role of Biomass in the Green Transition | Klimarådet (klimaraadet.dk).
28. <https://ens.dk/ansvarsomraader/vindenergi/udbud-paa-havvindmoelleomraadet/energieer>
29. <https://www.topsoe.com/>
30. Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse (2019): Erhvervsfremme i Danmark 2020-2023
31. Erhvervsministeriet (2018): "Det Blå Danmark - et globalt maritime kraftcenter"
32. Erhvervsministeriet (2018): "Det Blå Danmark - et globalt maritime kraftcenter"
33. Erhvervsministeriet (2018): "Det Blå Danmark - et globalt maritime kraftcenter"
34. Få ref fra Jesper Larsen
35. DAMVAD Analytics for Danske Rederier: "Dansk maritim forskning, 2008-2017" (april 2019).
36. [https://atv.dk/sites/atv.dk/files/media/document/ATV%20analyse%20overdens%20forende%20tech%20regioner\\_opslag\\_web.pdf](https://atv.dk/sites/atv.dk/files/media/document/ATV%20analyse%20overdens%20forende%20tech%20regioner_opslag_web.pdf)
37. Citationsimpact af energilagring og -konvertering. Field-Weighted Citation Impact. Normaliseret indikator for hvor ofte forskernes publikationer er citeret (2011-2015). Tallet 1 = verdensgennemsnittet.
38. <https://www.cee.elektro.dtu.dk/news/Nyhed?id=%7B7B2570D2-7FA6-40C8-AAB5-07327B204099%7D>
39. <https://www.dtu.dk/forskning/samfundsudfordringer/groen-energi>
40. "International Journal of LCA"
41. Bl.a. Klima-, Energi- og Bygningsministeriet (2013): Smart Grid Strategi - Fremtidens Intelligente Energisystem.
42. European Commission, Joint Research Centre (2011): Smart Grid projects in Europe: Lessons learned and current developments.
43. Deloitte (2017): Danmark som energiteknologisk pionerland.
44. 24 virksomheder vil strømline dansk energiforsyning - DI (danskindustri.dk)
45. <http://www.powerlab.dk/>
46. <http://www.energylabnordhavn.com/index.html>
47. <https://www.dtu.dk/nyheder/2019/09/bornholm-viser-vejen-for-fremtidens-energiforbrug?id=2e282363-2a4e-4c01-b9c0-354e0c144c6a> og <https://www.danskenergi.dk/nyheder/bornholm-energieer-kan-sende-danmark-front>
48. <https://www.centerdenmark.com/> og <https://www.uni-lab.dk>
49. <https://www.greenlab.dk>
50. Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet (2018): Danmark som foregangsland på energi og klima. Status på den grønne omstilling.
51. Bred aftale om Nordsøens fremtid (kefm.dk)



**Danmarks  
Tekniske  
Universitet**

Anker Engelunds Vej 1  
2800 Kgs. Lyngby  
Denmark

[www.dtu.dk](http://www.dtu.dk)