
Danske styrker og potentialer inden for energiteknologi og fokusområder i FUD-indsatsen

Baggrundsnotat til analyse af statens indsats for forskning, udvikling og demonstration på energiområdet



Udarbejdet for Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, Uddannelses- og Forskningsministeriet, Innovationsfonden og EUDP, august 2019

Dataindsamling afsluttet februar 2019

Indholdsfortegnelse

1. Indledning.....	3
2. Globale trends og internationale aftaler.....	5
2.1 Globale megatrends, der påvirker energiområdet	5
2.2 Megatrends betydning for efterspørgslen efter energi og energiteknologi.....	6
2.3 Internationale mål og aftaler på klima- og energiområdet.....	7
2.4 Trends i den globale efterspørgsel efter energiteknologier.....	8
3. Danske mål og aftaler	12
4. Danske erhvervsstyrker	13
5. Forskningsstyrker.....	17
5.1 Indledning.....	17
5.2 Dansk energiforskning i et internationalt perspektiv	17
5.3 Forskningsmæssige præstationer inden for energiteknologiske emneområder	19
6. Teknologiområder med særlige danske potentialer.....	23
7. Uddybning af danske energiteknologiske potentialer	27
7.1 Indledning.....	27
7.2 Vindenergi	27
7.3 Solenergi.....	28
7.4 Bølgeenergi	30
7.5 Geotermi.....	31
7.6 Bioenergi	32
7.7 Energieffektivitet.....	33
7.8 Energilagring og energikonvertering	34
7.9 Det intelligente og integrerede energisystem (Smart Energy).....	36
7.10 Fjernvarme	38
7.11 Teknologier til optag og lagring/udnyttelse af CO ₂	39
Bilag 1. Interviewpersoner	41

1. Indledning

Dette notat handler om danske styrker og potentialer inden for energiteknologi og fokusområder i forskning, udvikling, og demonstration (FUD)-indsatsen på energiområdet.

Notatet fungerer som baggrundsnotat til en samlet analyse af statens indsats for FUD på energiområdet, som er udarbejdet af IRIS Group for det daværende Energi-, Forsynings- og Klimaministerium og Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP) samt Uddannelses- og Forskningsministeriet og Innovationsfonden gennem efteråret og vinteren 2018/2019.

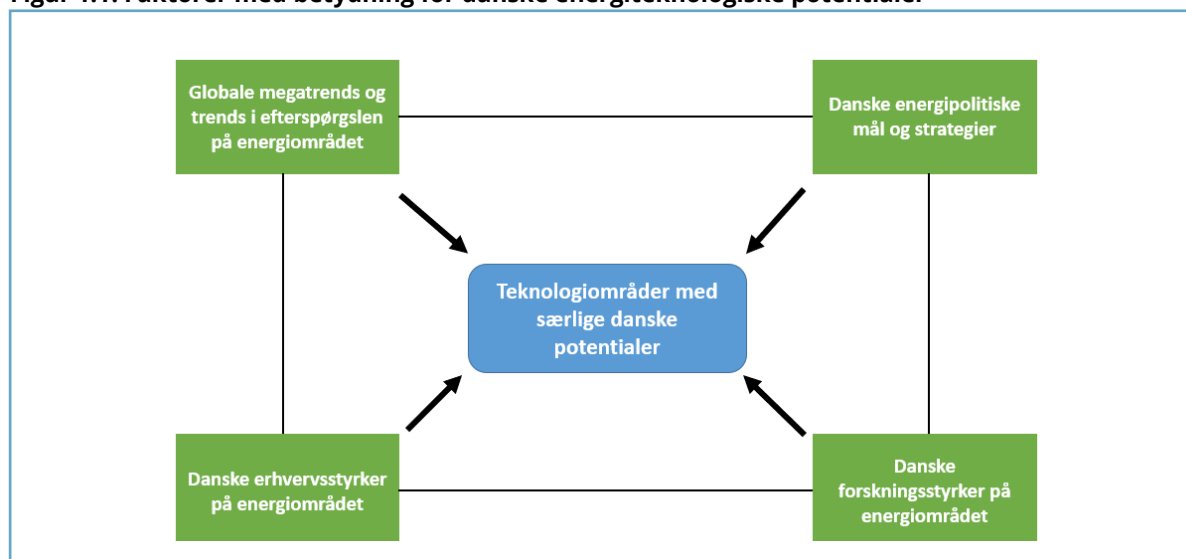
Baggrundsnotatet har som hovedmål:

1. At indkredse teknologiområder, hvor der er et stort potentiale for at skabe vækst i energiindustrien (på kort eller længere sigt) og for at gennemføre FUD-projekter af høj kvalitet.
2. At identificere konkrete områder/nicher inden for hvert af disse teknologiområder, hvor vi har særligt gode forudsætninger for at udvikle teknologier med et globalt skaleringspotentiale.
3. At identificere udfordringer inden for disse teknologiområder, som det er vigtigt at adressere i den statslige FUD-indsats.

Vores afsæt er, at teknologiområder med særlige danske potentialer skal findes i snitfladerne mellem internationale mål og trends på energiområdet, nationale energipolitiske mål og eksisterende danske styrkepositioner inden for erhverv og forskning (se også figuren på næste side):

- **Globale megatrends.** Globale trends og internationale aftaler på energi- og klimaområdet - og deraf afledte trends i efterspørgslen efter energi og energiteknologiske løsninger – har stor betydning for, hvor man finder de største potentialer ved at investere i forskning og teknologi-udvikling på energiområdet. Megatrends og internationale mål er således af stor betydning for retningen i efterspørgslen efter energiteknologi.
- **Danske mål og aftaler på energiområdet.** De danske politiske målsætninger på klima- og energiområdet, herunder mål for investeringer i energiteknologi og udbygning af energinettet, har også en væsentlig betydning for, hvor dansk energiindustri har vækst- og eksportpotentialer. Det skyldes både, at den indenlandske efterspørgsel spiller en rolle for dansk energiindustri, men også, at hjemmemarkedet for at udvikle, afprøve og demonstrere nye teknologier er vigtigt.
- **Danske erhvervsstyrker.** Det er naturligvis væsentligt, at en dansk indsats på FUD-området tager afsæt i eksisterende danske erhvervsstyrker. Det vil sige 1) områder, hvor vi allerede står stærkt som vind og bioenergi, og 2) mere umodne teknologiområder, hvor danske virksomheder er godt i gang, og hvor vækstperspektiverne er gode.
- **Danske forskningsstyrker.** På tilsvarende vis er danske forskningsstyrker også et vigtigt udgangspunkt. Det er vigtigt, at vi satser på FUD-aktiviteter, hvor der findes danske forskningsmiljøer i den internationale elite, som kan bidrage til udvikling af nye teknologier.

Figur 1.1. Faktorer med betydning for danske energiteknologiske potentialer



Kilde: IRIS Group

For at være et teknologiområde med stort potentiale kræver det ikke nødvendigvis, at området træder positivt frem i alle fire hjørner af figuren. Fx kan et område godt være kendetegnet ved at være understøttet af megatrends og af danske forskningsstyrker, men endnu være for umodent til, at der er egentlige erhvervsstyrker på området.

De følgende afsnit (2-5) gennemgår hvert af de fire områder enkeltvist. Afsnit 6 sammenfatter delanalyserne og giver et samlet bud på teknologiområder med særlige danske potentialer. Derefter gennemgår afsnit 7 nicher og delområder under hvert af disse teknologiområder, hvor en dansk FUD-indsats kunne have særlige perspektiver – både på kort og længere sigt.

Afsnit 2-4 er baseret på desk research af eksisterende strategier og analyser, mens afsnit 5 baserer sig på en bibliometrisk analyse. Endelig baserer afsnit 7 sig på både desk research og interviews med forskere og virksomheder inden for de identificerede teknologiområder.

2. Globale trends og internationale aftaler

2.1 Globale megatrends, der påvirker energiområdet

Det er i høj grad globale megatrends – i form af udviklingstendenser og udfordringer af stor betydning for det globale samfund – der sætter dagsordenen for de kommende årtiers efterspørgsel efter energiteknologi og for de politiske aftaler, der indgås på energiområdet på internationalt og nationalt plan¹. Derfor er megatrends og deraf afledte prognoser for udviklingen i energiforbrug og -investeringer et vigtigt udgangspunkt for at vurdere, hvor vi i Danmark har potentialer for vækst i energiindustrien. I boksen nedenfor har vi kort gennemgået de fem megatrends, som internationale teknologiske fremsynsstudier peger på som de vigtigste for udviklingen i efterspørgslen efter energiteknologier.

Boks 2.1. Megatrends med stor betydning for efterspørgslen på energiområdet

Befolkningstilvækst

De kommende tre årtier vil være kendetegnet ved en stærk global befolkningstilvækst og en ændring i den demografiske sammensætning af befolkninger i de forskellige dele af verden. Den samlede befolkning på kloden forventes at stige fra 7,4 mia. mennesker i 2015 til 9,7 mia. i 2050. Størst vækst forventes i Asien samt i Afrika, hvor indbyggertallet forventes at fordobles. Hertil kommer en kraftig vækst i den globale middelklasse og i andelen af ældre.

Klimaforandringer

Stort set alle teknologiske fremsynsstudier peger på klimaforandringer som en helt central megatrend med store konsekvenser for alle klodens samfund. Det forventes, at temperaturstigningen nogle steder på kloden vil nå over 2 grader allerede i 2030, hvilket vil skabe voldsomme forandringer af vejrforhold, vandstand, økosystemer, mv. OECD forventer 50 pct. øget udslip af drivhusgasser i 2050 ikke mindst drevet af større energibehov i voksende økonomier i Asien, Afrika og Sydamerika (ved den nuværende sammensætning af energiforbruget). Klimaforandringer – og prognoser på området – skaber øget klimabevidsthed blandt forbrugere, virksomheder og myndigheder over de meste af verden.

Pres på klodens ressourcer

Befolkningstilvæksten og stigende velstand og forbrug skaber et stigende pres på naturressourcerne. Samtidig påvirkes adgangen til naturressourcer, biodiversiteten og reproduktionen af klimaforandringer og urbanisering. Den samlede efterspørgsel på energi forventes at stige med 37 pct. frem mod 2040¹, mens fossile energireserver opbruges. Efterspørgslen efter vand forventes at stige med 55 pct. frem mod 2050, hvor 60 pct. af verdens befolkninger forventes at have udfordringer med adgang til rent vand.

Digitalisering

En anden megatrend med stor betydning på energiområdet er digitalisering, som i modsætning til de andre megatrends er udbudsrelateret. Nye teknologier som big data, digitale sensorsystemer (Internet of Things) og digitalt forbundne robotsystemer er i gang med at udøve kolossal indflydelse på udviklingen af fremtidens energiteknologi – bl.a. fordi de skaber muligheder for intelligente og integrerede energisystemer, smarte bygninger og mere effektiv produktion og lagring af vedvarende energi.

Urbanisering

En sidste megatrend, der påvirker efterspørgslen efter energiteknologi, er urbaniseringen. Dvs. at byer i endnu højere grad end nu vil blive centrum for økonomisk, politisk og social udvikling. OECD forventer, at 70 pct. af verdens befolkning vil bo i byer i 2050 mod lidt over 50 pct. i dag, og at der til den tid vil være 41 såkaldte megacities med mere end 10 mio. indbyggere. Denne koncentration af befolkningerne betyder bl.a. noget for, hvordan forsyningsnettet skal laves i fremtiden, og hvordan fremtidens bygninger skal energisikres.

Kilder: OECD (2016); "OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016"; Bloomberg (2018); "New Energy Outlook 2018"; US Energy Information Administration (2016); "International Energy Outlook, May 2016"; NNT Data (2017); "NNT Data Technology Foresight 2017".

¹ Se fx OECD (2016); "Science, Technology and Innovation Outlook".

2.2 Megatrends betydning for efterspørgslen efter energi og energiteknologi

De skitserede megatrends vil for det første betyde en stigning i efterspørgslen efter energi, primært drevet af befolkningstilvæksten og en stigende velstand¹. Ikke mindst befolknings- og velstandsvæksten i ikke-OECD-lande forventes at få en stor indflydelse på udviklingen i energiforbruget. US Energy Information Administration forventer fx, at lande uden for OECD vil stå for over halvdelen af stigningen i energiforbruget. IEA vurderer, at det samlede globale energiforbrug vil stige med 30 pct. frem mod 2040².

En af de betydeligste følger af de to megatrends, klimaforandringer og pres på klodens ressourcer er, at efterspørgslen efter vedvarende energi og energieffektivitet vil stige betydeligt, mens efterspørgslen på fossile brændstoffer falder. Som Bloomberg udtrykker det i deres Energy Outlook fra 2018: *"Since the 1970s, fossil fuels have commanded a consistent 60-70 pct. share of the global power generation mix. We think this 50-year equilibrium is coming to an end"*. Samlet har IEA estimeret, at de globale investeringer i vedvarende energi og energieffektivitet vil ligge på hele 13.500 mia. dollars frem mod 2030 for at realisere målene i Paris-aftalen.

De stigende investeringer i vedvarende energikilder – især sol og vind – betyder også et voksende behov for teknologier, som 1) kan håndtere de fluktuerende mængder af vedvarende energi i energisystemet og 2) kan bidrage til at organisere forbruget, så det tilpasses energiproduktionen og belastningen af nettet (intelligente systemer). Det sidste understøttes i høj grad af megatrenden digitalisering, som kan bidrage til en bedre balancering af forbruget og skabe incitament til en energimæssig adfærd blandt forbrugerne, der understøtter øget anvendelse af vedvarende energikilder³.

Presset på naturressourcerne, klimaforandringerne – og de deraf afledte effekter på vores forbrug – indebærer også et fokus på at udnytte fornybare naturressourcer som kilde til energiproduktion, herunder omdannelse af biomasse til bioenergi. Især såkaldte 2.-generations-biobrændstoffer fra affald i landbruget, husholdninger og industrien ventes at kunne være med til at reducere udledningerne af drivhusgasser, selvom effekterne debatteres. IEA forventer, at biomasse vil dække 17,5 pct. af det globale energibehov i 2060 mod 4,5 pct. i dag. Biomasse som energikilde har de seneste år dog mistet lidt af det momentum, som teknologien havde for 8-10 år siden – pga. af faldende oliepriser og stor konkurrence fra sol- og vindenergi⁴ samt usikkerhed om de langsigtede klimaeffekter.

En konsekvens af udviklingen inden for vedvarende energi er som nævnt et stigende behov for energilagringsteknologier, som kan skabe mere stabilitet i energinet og sikre opbevaring af el og varme. Nye former for batterier, både stor-skala til at understøtte et intelligent elnet og små-skala til industri, husholdninger, eldrevne køretøjer mv., forventes at blive kraftigt efterspurgt. IEA forventer, at der i 2025 vil blive efterspurgt 21 GigaWatt mere kapacitet fra litium-ionbatterier, end der vil være på markedet⁵.

Det stigende globale elforbrug og presset fra klimaforandringer skaber også et stærkt pres for energieffektive løsninger inden for varme, køling, ventilation, klimastyring, vandpumper, industriprocesser osv. Energieffektiviteten bliver ved med at stige på globalt plan, og alene mellem 2015 og 2016 faldt energiintensiteten med 1,8 pct. IEA vurderer, at det kræver store investeringer i energieffektiviserings-teknologier

² IEA (2015): "World Energy Outlook 2017".

³ OECD (2016); "Science, Technology and Innovation Outlook".

⁴ Alle oplysninger om biomasse er fra IEA (2017); "Technology Roadmap – Delivering Sustainable Bioenergy"

⁵ <https://www.iea.org/etp/tracking2017/energystorage/>

på tværs af områder som bygninger, transport og el-infrastruktur, hvis energieffektiviteten skal blive ved med at stige⁶.

2.3 Internationale mål og aftaler på klima- og energiområdet

Et væsentligt pejlemærke for udviklingen i efterspørgslen efter energi og energiteknologi er endvidere internationale mål og aftaler på energiområdet. De vil i høj grad danne grundlag for, hvordan og hvor hurtigt landene overgår fra konventionelle til fornybare energikilder og for udviklingen i investeringerne i energisystemerne. Samtidig udgør de en væsentlig ramme for fokus og prioriteter i internationale FUD-programmer på energiområdet, herunder EU's rammeprogrammer.

Overordnet er de vigtigste internationale mål for Danmark på energiområdet de mpl, der er aftalt i regi af FN og EU.

2.3.1 Paris-aftalen

Som en konsekvens af de globale klimaforandringer har 177 lande under FN ratificeret den såkaldte "COP21 Paris-aftale" i 2015. Målene fra denne aftale har stor indflydelse på både EU's og Danmarks målsætninger på energiområdet. Aftalen forpligter overordnet landene til at holde den globale temperaturstigning under 2°C, og bestræbe sig på at holde den under 1,5°C samt at nå nettonul-udledning i anden halvdel af dette århundrede. De enkelte lande skal indmelde en klimaplan, som redegør for, hvordan de vil bidrage til at indfri målene.

2.3.2 EU's Energiunion

Den vigtigste ramme for EU's energipolitik er EU's såkaldte energiunion, som blev vedtaget i 2015. Energiunionen udstikker retning for fremtidens europæiske energi- og klimapolitik og skal sikre, at EU når sine langsigtede målsætninger om fossiluafhængig økonomi i 2050. Energiunionen er bygget op om fem dimensioner:

1. *Forsyningsikkerhed*: Strategien fokuserer bl.a. på implementering af EU's forsyningsikkerhedsstrategi, diversificering af energiforsyningen og styrket koordinering af den eksterne energipolitik.
2. *Indre energimarked*: Strategien fokuserer bl.a. på udbygning af energiinfrastrukturen, nyt el-markedsdesign og øget regionalt energisamarbejde.
3. *Energieffektivitet*: Strategien fokuserer særligt på revisioner af energieffektivitetsdirektivet, ecodesign-direktivet, energimærkningsdirektivet og bygningsdirektivet.
4. *Reduktion af drivhusgasudledninger*: Strategien fokuserer bl.a. på reform af EU's kvotehandelsystem, forslag vedrørende udledninger fra ikke-kvotesektoren, herunder implementering af EU's 2030-mål for CO₂-udledninger og vedvarende energi.
5. *Forskning*: Strategien vil bl.a. indeholde en ny, fokuseret strategi for forskning og innovation.

Energiunionens målsætninger er blevet udmøntet i en særlig "societal challenge", som har sit eget ansøgningsprogram under EU's generelle rammeprogram for forskning, Horizon 2020, nemlig "Secure, Clean and Efficient Energy" (se særskilt baggrundsnotat om samspil mellem nationale og internationale

⁶ IEA (2017); "Energy Efficiency 2017".

programmer på FUD-området). Dels sætter den såkaldte SET-plan (Strategic Energy Technology-plan) rammen for medlemslandenes forskning og innovation indenfor energi- og klimainnovation. SET-planen udstikker eksplicit 10 udviklingspunkter inden for energiforskning og -innovation, som medlemslandene er forpligtet til at udvikle indenfor, men med frihed til at vælge forsknings- og udviklingsaktiviteter indenfor egne styrkeområder:

- Udvikle vedvarende energiteknologier og få dem integreret i energisystemerne.
- Reducere omkostningerne for de vigtigste vedvarende energikilder.
- Udvikle nye teknologier og services for energiforbrugerne.
- Gøre energisystemet mere robust og sikkert.
- Udvikle energieffektive materialer og teknologier for bygninger.
- Forbedre energieffektiviteten for industrien.
- Blive konkurrencedygtige på det globale marked for batteriteknologi.
- Styrke markedsoptaget for vedvarende energi.
- Styrke ambitionerne for brugen af CCS-teknologier (Carbon Capture & Storage).
- Højne sikkerheden for atomenergi.

Derudover er Energiunionen en paraply for alle de aktiviteter, som indgår i EU's mål om at reducere emissionen af drivhusgasser frem mod 2030. De overordnede midler til at nå EU's mål er:

- EU skal forbedre effektiviteten i sit energiforbrug med 32,5 pct. (skal genforhandles og evt. forhøjes i 2023).
- EU skal øge andelen af det samlede energiforbrug, der kommer fra vedvarende kilder til 32 pct. i 2030.
- Der skal skabes et effektivt indre marked for elektricitet, hvor den indbyrdes forbundethed hæves med 15 pct. i forhold til 2015.

2.4 Trends i den globale efterspørgsel efter energiteknologier

Som en konsekvens af både megatrends og de internationale mål/aftaler på energiområdet vil de kommende årtier blive præget af en stor efterspørgsel efter energiteknologiske løsninger, der gør det muligt at realisere de internationale mål samt at udnytte potentialer og trusler/udfordringer knyttet til megatrends.

Der er brug for nye teknologier inden for både udnyttelse af fornybare naturressourcer, produktion og lagring af forskellige vedvarende energiformer, distribution og forbrug af energi, elektrificering, udnyttelse af restprodukter i energiproduktionen, mv. Behovet dækker alle faser fra udvikling af radikalt nye teknologier til små forbedringer af eksisterende, mere modne teknologier, der øger deres konkurrencedygtighed over for konventionelle teknologier.

Vi har med afsæt i den læste litteratur samlet trends inden for efterspørgslen efter nye energiteknologier i fire overordnede løsningsmodeller. Formålet med inddelingen er at give et let overblik, men i realiteten er de fire løsningsmodeller integrerede, idet de baserer sig på teknologier på tværs af grupperne. Det gælder eksempelvis CO₂-besparende teknologier som vind og sol og elektrificeringsteknologier som batterier.

2.4.1 Vedvarende energiteknologier

Én løsningsmodel samler de teknologiområder, der beskæftiger sig med vedvarende energi. Diverse teknologiske fremsyn og prognoser på energiområdet forudser meget store stigninger i efterspørgslen på CO₂-besparende, vedvarende energikilder:

- Vind- og solenergi forventes at blive de største vedvarende energikilder. Bloomberg forudser eksempelvis, at 50 pct. af al elektricitet vil være sol- og vindbaseret i 2050⁷.
- Bloomberg forudser endvidere, at sol- og onshore vindenergi vil udgøre de billigste energiformer i mange lande allerede i 2020.
- Mellem 2018 og 2030 forventer IEA, at der globalt set vil blive investeret 13,5 billioner USD i ny energiteknologi, hvoraf 8,4 billioner USD vil gå til sol og vind, mens andre CO₂-reducerende teknologier som vand og atomenergi vil udgøre omkring 1,5 billioner USD.
- Beregninger viser, at CCS (Carbon Capture and Storage) bliver en central løsning, fordi at det i hvert fald vil blive 70 pct. dyrere at nå målene fra Paris-aftalen uden CCS. Det globale marked for CCS-teknologier ventes at vokse til 4,2 milliarder USD i 2022. Men restriktiv lovgivning og forventede store omkostninger i både forsknings- og implementeringsfasen gør, at markedspotentialet stadig er usikkert⁸.

Vind- og solenergi er begge forholdsvis modne teknologiområder, men de teknologiske fremsynsstudier peger på, at en af fremtidens store udfordringer bliver, hvordan man får konverteret den fluktuerende energi fra sol og vind ind i et energinet med behov for stabilitet og til andre energiformer (power to X), så det kan bruges i fx transport⁹. Derudover peges der også på, at der stadig er udfordringer med placeringer af off-shore vindmøller på meget dybt vand (herunder er der behov for forskning i flydende fundamenter).

Hertil kommer, at vejen til en billiggørelse af de to energiformer går gennem en række forbedringer i effektivitet og ydeevne, som forudsætter samarbejde mellem virksomheder og forskningsinstitutioner – og i mange tilfælde inddragelse af komplementære teknologiområder inden for fx materialeteknologi, laserteknologi, kemi, mv.

Herudover er konkurrenceevne og innovation inden for vind og sol fremadrettet i høj grad knyttet til at udvikle tilknyttede services og koncepter for anvendelse, lagring samt transmission og distribution af energi. Det illustreres fx af Vestas' nye vision om at udvikle sig fra at være førende på vind til at være førende på udvikling af vedvarende energiløsninger¹⁰.

Det skal afslutningsvist nævnes, at de senere års fremsynsstudier primært har haft fokus på samspillet mellem vedvarende energikilder og elektrificering (se også nedenfor). Mens der i mindre grad er fokus på udnyttelsen af vedvarende energi til varme og køling. Danmark har en erhvervsmæssig styrkeposition inden for fjernvarme, og der foregår under fremsynsstudiernes radar en transformation, hvor solvarme i stigende grad anvendes som ressource til produktion af fjernvarme. Lande som Østrig, Tyskland og Kina er begyndt at opbygge solvarmecentraler, der indgår i fjernvarmeproduktionen, og selv om der mangler prognoser på området, forventer eksperter på området stor vækst¹¹.

⁷ International Energy Agency (2017a); "World Energy Outlook 2017".

⁸ Stratistics (2016); "Carbon, Capture and Storage – Global Market Outlook 2016-2022".

⁹ European Commission (2018); "A foresight perspective of the electricity sector evolution by 2050".

¹⁰ Interview med Vice President, Ideation and Partnering, Kasper Roed Jensen, Vestas A/S

¹¹ Interview med Professor Simon Furbo, DTU Byg.

2.4.2 Cirkulær økonomi

Klimaforandringer, presset på naturressourcer og befolkningstilvæksten skaber behov for at udvikle løsninger inden for de industrielle værdikæder, der er grønnere, baseret på fornybare ressourcer og energikilder, og hvor affald og restprodukter håndteres mere bæredygtigt. Et centralt satsningsområde er derfor cirkulær økonomi, hvor økonomisk vækst afkobles fra forbrug af materialer, og hvor vand og andre input genbruges i produktionen.

- Det forudses, at der bliver et større marked for anden generations biobrændstoffer. Efterspørgslen efter flydende biobrændsler til transport forventes at firedobles mellem 2015 og 2030, hvor behovet vil være på ca. 500 milliarder liter – for så at mere end fordobles frem til 2050 med 1,12 milliarder liter¹².
- Der forventes også en kraftig vækst i efterspørgslen efter nye materialer, der er reproducerbare og baserer sig på mindre energiforbrug i produktionen.

Tendenserne peger i lidt forskellige retninger for teknologiområder inden for cirkulær økonomi. Nogle fremsynsstudier vurderer, at elektrificering (se næste sektion) er blevet vigtigere end biobrændstoffer, fordi markederne for sol og vind vokser så hurtigt, og fordi der har været tvivl om biobrændstoffers bæredygtighed. Andre ser det som et spørgsmål om teknologimodning og mener, at biobrændstoffer vil være en vigtig del af transportsektoren på længere sigt – især efter 2030¹³. EU har stort fokus på innovation inden for håndtering af affald – både hvad angår innovation i forbrændingsanlæg, muligheder for genanvendelse og nye måder at "komme af" med affald – fx ved nye former for biologisk nedbrydelse vha. genmodificerede bakterier¹⁴.

2.4.3 Elektrificeringsteknologier

En løsningsmodel på energiområdet er elektrificering. Grundidéen er at flytte så mange enheder som muligt (fx køretøjer, opvarmning, etc.) fra andre energikilder og over til elektricitet – og så skal elektriciteten gradvist produceres mere og mere af vedvarende energikilder. Visionen er også, at energiproduktionen decentraliseres i mindre anlæg, som også leverer overskydende elektricitet tilbage til elnettet.

- IEA forventer, at elektricitet vil dække over 40 pct. af stigningen i energiforbruget frem til 2040.
- Bevægelser væk fra fossile brændstoffer til transport bliver understøttet af politiske initiativer – fx har både UK og Frankrig en målsætning om at udfase salg benzin- og dieselmotorer frem mod 2040.
- IEA regner med, at der vil være 280 mio. el-biler på vejene i 2040 mod 2 mio. i dag¹⁵.

Forudsætningen for denne løsningsmodels succes er, at man kan blive bedre til at udnytte den fulde mængde energi produceret fra vedvarende energikilder, selvom deres udbytte er vejrafhængigt og derfor fluktuerende.

Der er tre teknologiområder, som foresigter forudsiger bliver afgørende for denne udvikling – nemlig Smart Grids, energilagring og "Power-to-X"-teknologier. Smart Grids er intelligente elnet, som ved hjælp af big data og sensorsystemer kan regulere udbuddet af strøm efter efterspørgslen ved hjælp af digital kommunikation mellem forbruger, transmissionssystem og energikilden. Dette kræver dog også udvikling af (batteridrevne)

¹² IRENA (2016); "Innovation Outlook – Advanced Liquid Biofuels".

¹³ Se fx <https://www.bloomberg.com/quicktake/electric-vehicles> og IRENA (2016); "Innovation Outlook – Advanced Liquid Biofuels".

¹⁴ European Commission (2014): "Preparing the Commission for Future Opportunities".

¹⁵ Alle dotter er fra IEA (2017) "World Energy Outlook".

energilagringsteknologier, som kan lagre energien fra vedvarende energikilder og gøre den anvendelig, når der er brug for den. Flere fremsynsstudier regner med, at brændselsceller baseret på fx zink og litium bliver de mest udbredte former for energilagring til mindre enheder som fx biler¹⁶. Det forventes, at de globale investeringer i batteriteknologi vil vokse fra 15 mia. US dollars i perioden 2017-20 til mere end 500 mia. US dollars i perioden 2046-50¹⁷.

I elektrificeringsmodellen indgår også de såkaldte "Power-to-X"-teknologier, som er konverterings-teknologier, der kan frigøre elektricitet fra elnettet til andet formål – fx til transport. Der arbejdes med udvikling af fx "power-to-gas" og "power-to-liquids", som potentielt får stor udbredelse, men det er endnu sparsomt med markedsprognoser på området¹⁸.

2.4.4 Energieffektivisering

Der har været innovation inden for teknologier til at optimere energieffektivitet af både bygninger, transport og elektriske apparater i flere årtier, men området er kommet yderligere på dagsordenen som resultat af klimaforandringer og internationale målsætninger, fx EU's energiunion.

- Mellem 2015 og 2016 steg de globale investeringerne i energieffektiviseringsteknologier og nåede 231 mia. USD.
- Bl.a. EU har stor fokus på at højne energieffektiviteten, bl.a. ved udfasning af tidligere elpæretknologier og standarder for byggematerialer.
- IEA forudser, at 6 milliarder enheder (telefoner, køleskabe, etc.) vil være digitalt forbundne i 2020, hvilket også skulle højne energieffektiviteten, fordi de kan kommunikere med hinanden og regulere sig efter forbrug¹⁹.

Mens energieffektivisering i høj grad har været fokuseret på bygninger og byggematerialer, så peger IEA på, at der stadig kan være meget at hente ved at fokusere mere på opvarmning og nedkøling af boligen samt belysning. Desuden bevæger innovationen sig mod integration af digitale teknologier og vedvarende energikilder (som også beskrevet i afsnittet om elektrificering) og IEA forudser, at det er inden for disse interdisciplinære områder, at der er store potentialer for innovation²⁰.

¹⁶ OECD (2016): "OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016"; EU Fuel Cells & Hydrogen Joint Undertaking (2017); "Fuel Cell and Hydrogen Technology: Europe's Journey to a Greener World".

¹⁷ Bloomberg (2018): "New Energy Outlook"

¹⁸ EU-kommissionen/Asset (2018); "A foresight perspective of the electricity sector evolution by 2050".

¹⁹ International Energy Agency (2017); "World Energy Outlook 2017".

²⁰ Internationale Energy Agency (2017); "Energy Efficiency 2017".

3. Danske mål og aftaler

De danske mål og aftaler på energiområdet er naturligvis også en vigtig kilde til at vurdere perspektiver og potentialer for den danske energiindustri. Dels fordi det indenlandske marked i sig selv trækker en del af omsætningen i den danske energisektor. Dels fordi hjemmemarkedet er vigtigt for udvikling, test og demonstration af nye teknologier.

Danmark kan få en væsentlig rolle som et land, der tiltrækker virksomheder og investorer på energiområdet – med fokus på de områder, hvor vi udvikler testfaciliteter og er foregangsland i at tage nye energiteknologier i brug.

Danmarks målsætninger og indsats er en del af EU's samlede bidrag til Paris-aftalen, og Danmark har fastlagt følgende nationale målsætninger og sigtelinjer – bl.a. i forlængelse af energiaftalen fra juni 2018:

- Vedvarende energi bør udgøre ca. 55 pct. af energiforbruget i 2030.
- Udfasning af kul til elproduktion frem mod 2030.
- Danmark vil arbejde mod netto-nuludledning i overensstemmelse med Paris-aftalen og for et mål om netto-udledning i EU og Danmark senest i 2050.

Danmark har således opstillet ambitiøse mål og sigtelinjer for den grønne omstilling. Desuden fokuserer den politiske aftale på at skabe vedvarende energi på markedsvilkår samt at styrke Danmarks energiforskning og eksport af grønne energiløsninger.

Udgangspunktet for aftalen er, at de grønne energiteknologier, der leverer den billigste energi, skal være styrende for at drive den grønne omstilling frem mod 2050, hvor målet er netto-nuludledning og uafhængighed af fossile brændstoffer. Den grønne omstilling skal inden for en forholdsvis kort årrække kunne drives på markedsvilkår. Det har især været i fokus, at Danmark skal styrke sin position som førende inden for havvindmølleparker. Desuden er målet med forliget, at nye energiteknologier inden for energieffektivisering og vedvarende energikilder skal fremmes. I forhold til denne agenda er de vigtigste nedslag, at:

- Der etableres tre nye havvindmølleparker frem mod 2030, som producerer 2400MW, der til sammen kan dække mere end alle husstandes elforbrug.
- Der afsættes en pulje på 4,2 mia. kr., hvor vedvarende energiteknologier kan konkurrere i neutrale udbud.
- Der afsættes en pulje på 240 mio. kr. årligt til at udbygge energinettet med biogas og andre grønne gasser.
- De statslige midler til forskning, udvikling og demonstration (FUD) af energiteknologi øges til 580 mio. kr. i 2020. Efter 2020 øges de statslige midler til FUD inden for energiteknologi og klima til 1 mia. kr. frem mod 2024.
- Varmeværkerne får frihed til at vælge basis for deres varmeproduktion og kan investere i grønne energikilder.
- Der investeres en halv milliard i energieffektiviseringer af private og industrielle bygninger.

4. Danske erhvervsstyrker

Dette afsnit giver en kort beskrivelse af danske erhvervsstyrker på energiområdet. Da der er store forskelle i de forskellige teknologiers modenhed, skelnes der mellem etablerede og potentielle styrkepositioner.

Målt på omsætning, eksport og beskæftigelse er *vind* den klart dominerende branche inden for energiproduktion. Vindindustrien i Danmark (inkl. underleverandører) omsatte ifølge en specialanalyse i 2017 for ca. 112 mia. kr., beskæftigede ca. 33.700 årsværk og havde eksport for 54 mia. kr.²¹ Her spiller Vestas Wind Systems, MHI Vestas og Siemens Gamesa Renewable Energy, som er blandt verdens største vindmølleproducenter, naturligvis en afgørende rolle. Samtidig er Ørsted verdensledende inden for offshore vindmøllefarme, lige som E.ON og Vattenfall udvikler og driver vindfarme fra deres base i Danmark. Hertil kommer, at der i Danmark er et meget stort antal underleverandørvirksomheder til vindmølleproducenterne.

Bioenergi er et bredt teknologiområde, der bl.a. dækker biobrændstoffer, biogas, biobaseret kraftvarmeproduktion, udvikling af biomasseanlæg og bioolie. De erhvervsmæssige styrker knytter sig bl.a. til produktion af biomassefyrede kedler, omstilling af kraftvarmeværker, rådgivende ingeniørhuses viden om konstruktion, drift og vedligehold samt energiselskabernes opførelse og drift af biomasserelaterede anlæg. Dertil kommer en række unikke danske virksomheder og videncenterer inden for biogas og biobrændsel. Der er ca. 1.200 virksomheder i den danske bioenergi-klynge, som ifølge en nyere opgørelse beskæftigede ca. 11.500 årsværk og omsatte for 25 mia. kr., hvoraf 8 mia. kr. kom fra eksport (2014).²²

Bioenergi indeholder også et betydeligt vækstpotentiale, der knytter sig til anvendelse af avancerede biobrændsler i specielt den tunge transport (skive, lastbiler og fly).

Fjernvarme er også en dansk styrkeposition i forhold til økonomisk og beskæftigelsesmæssig volumen. Fjernvarmesektoren – herunder virksomheder inden for industri, varmforsyning og rådgivning – omsatte for 44 mia. kr. i 2017, beskæftigede 10.800 årsværk og eksporterede for 6,4 mia. kr. til primært Tyskland, Sverige og Kina. Inkluderer underleverandører var omsætningen på 61 mia. og beskæftigelsen på 22.500 årsværk.²³ Danmark er karakteriseret ved meget effektive kraftvarmeværker og en høj andel (ca. 63 pct.) af husstande, som er koblet på fjernvarmenettet. Desuden er der flere steder i Danmark unikke virksomhedssamarbejder om udnyttelse og genanvendelse af overskudsvarme i fjernvarmenettet.

Effektiv energianvendelse udgør overskriften for en stor dansk styrkeposition, som bl.a. både omfatter belysning, bygninger og byggematerialer samt processer. Blandt de toneangivende danske virksomheder kan nævnes Grundfos (pumper), Danfoss (varmeregulering), Velux (vinduer) og Rockwool (isolering). Clean har i en ny analyse opgjort omsætningen inden for området til 150 mia. kr. i 2017.²⁴

Olie og gas udgør også en dansk, energiteknologisk styrkeposition, der er baseret på indvindingen fra Nordsøen, og som er forankret i en erhvervsklynge på ca. 250 virksomheder med base i Esbjerg Havn²⁵. Der var i 2015 14.429 beskæftigede årsværk inden for olie og gas i Danmark, og omsætningen var på 55 mia. kr., hvoraf 32 mia. kr. kom fra eksport²⁶.

²¹ Vindmølleindustrien (2018): "Branchestatistik 2018"

²² DI Bioenergi (februar 2017) "Kortlægning af den danske bioteknikklynge"

²³ Dansk Fjernvarme (marts 2018): "Fjernvarmesektorens samfundsbidrag"

²⁴ Clean (2019): "Analyse af energiteknologiklyngen"

²⁵ EUDP (januar 2017): "EUDPs strategi 2017 - 2019"

²⁶ Region Syddanmark (2015): "Den danske offshorebranche"

Tabellen herunder sammenfatter de tilgængelige økonomiske nøgletal for de etablerede danske energiteknologiske erhvervsstyrkepositioner.

Table 4.1. Nøgletal for eksisterende danske energiteknologiske erhvervsstyrker

Erhvervsstyrke	Antal beskæftigede årsværk	Årlig omsætning	Årlig eksport
Vind	33.662 (2017)	112 mia. kr. (2017)	54 mia. kr. (2017)
Effektiv energianvendelse	56.800 (2017)	150 mia. kr. (2017)	57 mia. kr. (2017)
Olie & Gas	14.429 (2015)	55 mia. kr. (2015)	32 mia. kr. (2015)
Bioenergi	11.500	25 mia. kr. (2014)	8 mia. kr. (2014)
Fjernvarme	10.800 (2017)	44 mia. kr. (2017)	6,4 mia. kr. (2017)

Udover de store, eksisterende styrkeområder, der er fremhævet i tabellen, er der også en række andre energiteknologiske erhvervsområder i Danmark, som udgør spirende vækstområder.

De potentielle styrker er naturligvis forbundet med betydelig usikkerhed, da realisering af potentialerne både afhænger af udviklingen i den globale konkurrence, hvad andre lande satser på, og om det lykkes for de danske virksomheder at udvikle konkurrencedygtige teknologier og bringe dem på markedet. Der kan skelnes mellem to typer af potentielle styrkepositioner:

1. Teknologier, der med stor sikkerhed vil slå igennem på markedet i løbet af få år, og hvor usikkerheden derfor primært knytter sig til danske virksomhedernes evne til at udvikle teknologier, der er konkurrencedygtige over for virksomheder i andre lande.
2. Teknologier med betydeligt potentiale, men med stor teknologisk usikkerhed (fx hydroenergi, geotermi, bølgeenergi, avanceret biobrændstof), fx fordi vi endnu ikke kender deres konkurrencedygtighed over for andre energiformer.

Smart Grid (intelligente elsystemer), energilagring og energikonvertering er eksempler inden for den første kategori, hvor Danmark har virksomheder, der er i front på en række centrale teknologiområder.

Ifølge Dansk Energi kan Smart Grid skabe 8.000 nye job og en øget eksport på op mod 14 mia. kr. frem mod år 2020. Erhvervsområdet omfatter flere forskellige typer af virksomheder som bl.a. forsynings- og elselskaber, it-virksomheder mv. Der eksisterer stadig kun et begrænset kommercielt marked for Smart Grid, og det er på nuværende tidspunkt vanskeligt at foretage et præcis og afgrænset estimat over den private omsætning og beskæftigelse inden for området.

Inden for energilagring og energikonvertering har Danmark en række førende virksomheder (se tabel 4.2), der indgår i et tæt samarbejde med førende forskningsmiljøer på bl.a. AAU og DTU. Et eksempel er Haldor Topsøe, der har udviklet batteribaserede teknologier til at lagre el fra fluktuerende energikilder som vind og sol i brint til senere anvendelse.

I den anden kategori har vi potentielle styrker inden for geotermi og bølgeenergi. Det gælder dog for disse områder, at der endnu er relativt få aktive virksomheder i Danmark (og sikkert også i de fleste andre lande). Men det er teknologiområder, der kan spille en væsentlig rolle i omstillingen til vedvarende energikilder og reduktion af CO₂.

Inden for bølgeenergi har Danmark en række iværksættervirksomheder, der bl.a. er udsprunget af stærke forskningsmiljøer på bl.a. Aalborg Universitet.

Inden for geotermi har står Danmark bl.a. stærkt pga. nogle særlige geologiske forhold i den danske undergrund samtidig med, at det veletablerede fjernvarmenet kan understøtte udviklingen og udbredelse af denne vedvarende energikilde. Og her er Danfoss og Maersk eksempelvis netop gået sammen om at investere i geotermiske anlæg fire steder i Danmark ud fra en ambition om, at øge andelen af Danmarks energiforbrug fra geotermi fra 0,1 pct. til 30 pct.²⁷.

Endelig kan man også tale om potentielle styrker inden for sol, selv om der er tale om en moden branche, hvor produktionen af solceller/solpaneler er koncentreret i Asien. Her findes flere nicher i Danmark, der i dag er relativt små beskæftigelsesmæssigt, men som kan opnå vækst pga. et stort globalt markedspotentiale. Det gælder bl.a. solvarmeområdet samt virksomheder, der arbejder med design, udvikling og drift af solcelleanlæg. Hertil kommer et stort potentiale inden for bygningsintegrerede solcelleløsninger, hvor Danmark har stærke forudsætninger for at udvikle en styrkeposition²⁸. Solområdet beskæftiger skønsmæssigt 1.500-2.000 årsværk i Danmark i dag.

Tabel 4.2. Potentielle styrkepositioner

Område	Beskrivelse	Eksempler på virksomheder
Smart grid	<ul style="list-style-type: none"> • Stærkt dansk udgangspunkt pga. store produktion af el fra vindenergi. • Ifølge Dansk Energi kan Smart Grid skabe 8.000 nye job og en øget eksport på op mod 14 mia. kr. frem mod år 2020. • Endnu begrænset kommercielt marked for Smart Grid 	Omfatter virksomheder inden for forsynings- og elselskaber, it-virksomheder mv. Men også relevant for lang række industri-virksomheder.
Energilagring og energikonvertering	<ul style="list-style-type: none"> • Styrker inden for brintteknologi, katalyse og brændselsceller. • Både store virksomheder og en mindre gruppe af iværksættere 	Haldor Topsøe, Ballard, Air Liquide, Green Hydrogen
Geotermi	<ul style="list-style-type: none"> • Nyt teknologiområde • Potentiale knytter sig til geologiske forhold i den danske undergrund og det veludbyggede fjernvarmenet 	Danfoss og Mærsk investerer i området
Bølgeenergi	<ul style="list-style-type: none"> • Primært drevet af små, iværksættervirksomheder • Markant forskningsstyrke på AAU 	Resen Waves, Wavepiston, Crestwing, Weptos
Sol (nicheområder)	<ul style="list-style-type: none"> • Markant styrke inden for udvikling af solvarmeanlæg (Arcon-Sunmark) • Anvendelse af solceller/solpaneler i bygninger og bygningsmaterialer • Design, udvikling og drift af solfarme 	Arcon-Sunmark, European Energy, Better Energy, Energi Innovation, Linax, Actec Solar og Dansk Solenergi

²⁷ Berlingske Tidende (20. juni 2018): "A.P. Møller Holding klar til at skyde milliarder i varmt vand"

²⁸ Se Baggrundsnotatet "Danske styrker og potentialer inden for energiteknologi og fokusområder i FUD-indsatsen"

Herudover er det en væsentlig pointe, at de beskrevne megatrends og mål også påvirker efterspørgslen efter løsninger, der påvirker andre sektorer, hvor Danmark har styrkepositioner. I de gennemførte interview med forskere og virksomheder er der bl.a. peget på potentialer og synergier med følgende brancher:

- **IKT:** Løsninger inden for smart grid, energieffektivitet og intelligente systemer til optimering og overvågning af energiproduktion trækker på it-hardware, software, big data løsninger, blockchain-teknologi, sensorteknologi, mv.
- **Transport:** Danmark har en styrkeposition inden for søtransport, der konkurrerer på intelligente systemer til at reducere energiforbrug og på overgang til fossilfrie brændstoffer.
- **Avanceret kemi:** Overskydende strøm fra fx vindmøller kan anvendes til at producere både væsker (som ammoniak) og kemikalier. Et tættere samspil mellem virksomheder inden for kemi, vindenergi og energikonverteringsteknologier (fx brændselsceller) kan bidrage til at udvikle og producere kemiske produkter med minimalt CO₂-forbrug.
- **Byggeri og byggematerialer:** Energibesparende teknologier, solcelleintegrerede løsninger mv. er en stigende konkurrenceparameter inden for bl.a. udvikling af byggematerialer, hvor Danmark har en styrkeposition.

5. Forskningsstyrker

5.1 Indledning

Dette afsnit dykker ned i Danmarks forskningsmæssige styrkepositioner på energiområdet. Det er vigtigt, at vi i Danmark satser på FUD-aktiviteter, hvor der findes danske forskningsmiljøer i den internationale elite, og at disse miljøer også sikres en førerposition i fremtiden. Formålet med dette afsnit er ved hjælp af bibliometriske analyser²⁹ at undersøge, hvordan dansk energiforskning generelt klarer sig i et internationalt perspektiv, samt at give en indikation af hvilke områder inden for energiforskning, som Danmark bidrager til og har styrker inden for.

Afsnittet bygger på to bibliometriske analyser:

- Den første analyse benchmarker den samlede danske energiforskning med resten af verden på fire bredt anerkendte bibliometriske indikatorer.
- Den anden analyse er baseret på forskningsemner. Vi indkredser fremtrædende emneområder inden for energiforskning og kortlægger dansk forsknings andel af disse områder, samt identificerer på hvilke af områderne Danmark står særlig stærkt.

De internationale databaser, der bruges til bibliometriske analyser, baserer sig på bestemte inddelinger af forskningen ud fra en kategorisering af internationale forskningstidsskrifter. Forskningsstyrker kan være vanskelige at identificere i bibliometriske analyser, fordi forskere måske publicerer inden for mange tidsskriftkategorier, hvor de så har en stor samlet publikationsaktivitet, men måske ikke kommer ud som topforskere inden for de enkelte kategorier. Kategorierne, der som standard benyttes i bibliometriske databaser, er desuden ofte brede og kan derfor på energiområdet dække over flere forskellige energiteknologier.

5.2 Dansk energiforskning i et internationalt perspektiv

I den første analyse ser vi samlet på dansk energiforskning med udgangspunkt i de standardiserede forskningskategorier, som findes i den bibliometriske database Scopus³⁰. Vi benchmarker Danmarks samlede energiforskning³¹ op mod resten af verdens lande i perioden 2013-2017.

Tabel 5.1 på næste side viser Danmarks placering i forhold til resten af verdens lande på fire indikatorer. Det fremgår af tabellens første kolonne, at Danmark ligger på en 2. plads efter Norge, hvis antallet af publikationer inden for energiforskning opgøres per mio. indbyggere. Set i forhold til landets størrelse har Danmark altså en meget stor produktion af energiforskning.

For at undersøge publikationernes videnskabelige gennemslagskraft har vi i tabellen inkluderet tre indikatorer, der alle er baseret på en tælling af, hvor meget en given publikation citeres af en fagfælle. Hvis en publikation citeres ofte, kan det tolkes som en indikation på forskningens kvalitet. Det skal dog understreges, at en publikation kan være højt citeret af flere forskellige årsager, der ikke nødvendigvis er

²⁹ Bibliometriske analyser er kvantitative undersøgelser af publikationer og publikationsmønstre.

³⁰ Vi har anvendt Scival, der baserer sig på databasen Scopus, der er en af de bedst internationalt dækkende databaser over forskningspublikationer. Scopus rummer forskningspublikationer fra mere end 9.400 forskningsinstitutioner og 230 lande (www.scival.com).

³¹ Det overordnede forskningsområde "Energy" i SciVal er benyttet.

forbundet til publikationens faglige niveau. Citationer er derfor ikke en uproblematisk proxy for kvalitet, men udtrykker nærmere publikationens synlighed og anvendelse inden for det videnskabelige felt³².

Tabel 5.1. Dansk energiforskning i et internationalt perspektiv (2013-2017)

	Antal publikationer pr. mio. indbyggere		Antal citationer pr. publikation		Feltvægtet gennemslagskraft af forskning (indeks)		Andel publikationer blandt de 10 pct. mest citerede publikationer (pct.)	
1	Norge	1.073	Singapore	18,8	Singapore	2,2	Singapore	28,2
2	Danmark	909	Hong Kong	15,7	Hong Kong	2,05	Hong Kong	27
3	Singapore	726	Australien	12,3	Schweiz	1,85	Danmark	22,6
4	Island	698	Schweiz	12,1	Danmark	1,81	Australien	20,6
5	Sverige	698	Israel	12	Australien	1,7	Schweiz	20,5
6	Finland	613	Irland	10,9	Holland	1,66	Holland	20,2
7	Schweiz	605	Sverige	10,9	Italien	1,6	Italien	20
8	Australien	512	Holland	10,8	Saudi Arabien	1,59	Saudi Arabien	20
9	Estland	455	Spanien	10,8	Sverige	1,58	Irland	19,8
10	Canada	411	Belgien	10,7	Israel	1,57	Sverige	19,1
11	Holland	409	Danmark	10,7	Storbritannien	1,54	Norge	19
12	Hong Kong	402	Saudi Arabien	10,7	Belgien	1,53	Belgien	17,9
13	Portugal	399	Storbritannien	10,1	Irland	1,53	Storbritannien	17,9
14	Belgien	369	Grækenland	9,7	Norge	1,5	Qatar	17,8
15	Qatar	363	Canada	9,4	Qatar	1,5	USA	17,5
16	Storbritannien	343	New Zealand	9,1	Spanien	1,46	Spanien	17,2
17	Østrig	342	Iran	9	USA	1,46	Tyskland	17
18	Irland	330	Tyskland	8,9	Canada	1,44	Canada	16,9
19	Tyskland	294	Italien	8,9	Tyskland	1,44	Finland	16,7
20	Italien	288	USA	8,9	Finland	1,42	New Zealand	16,5
21	Spanien	282	Finland	8,8	New Zealand	1,42	Portugal	16,4
22	Grækenland	280	Portugal	8,5	Grækenland	1,37	Iran	16,3
23	USA	266	Kina	8,4	Iran	1,37	Grækenland	15,9
24	Frankrig	236	Tyrkiet	8,4	Ungarn	1,31	Estland	15,2
25	UAE	231	Qatar	8,3	Portugal	1,31	Tyrkiet	14,4

Kilde: IRIS Group på baggrund af Scival. Scival baserer sig på Scopus-data. Udtræk: oktober 2018.

Note: Selvcitationer er inkluderet. Typer af publikationer: Artikler, reviews og konferencebidrag. Lande med under 100 publikationer inden for energiområdet i perioden 2013-2017 er ikke medtaget.

I tabellens anden kolonne fremgår det, at danske publikationer inden for energiforskning gennemsnitlig har modtaget 10,7 citationer per publikation i perioden 2013-2017, hvilket placerer Danmark på en 11. plads i verden.

Det gennemsnitlige antal citationer per publikation er imidlertid relativt følsomt over for en stor spredning i citationsmønstret, som kan forekomme inden for et bredt fagområde som energi. En anerkendt metode til at opgøre forskningsresultaters videnskabelige betydning er at normalisere mængden af citationer på et forskningsområde (her energi) i forhold til verdensgennemsnittet for fagområdet, publikationstypen og

³² Se evt. Styrelsen for Forskning og Uddannelses "Forskningsbarometer 2018" for en drøftelse af brugen af bibliometriske indikatorer.

udgivelsesåret. Herved opnås et indeks for "feltvægtet gennemslagskraft af forskningen", jf. kolonne 3 i tabellen.

På dette indeks svarer værdien 1 til verdensgennemsnittet. Et indekstal på 2 er således udtryk for, at artikler i det pågældende land citeres dobbelt så hyppigt som verdensgennemsnittet, når der tages højde for forskelle i citationstraditioner på tværs af energiforskningsområder. På indekset ligger Danmark på en 4. plads efter Singapore, Hong Kong og Schweiz med scoren 1,81, hvilket betyder, at dansk energiforskning citeres 81 pct. mere end verdensgennemsnittet for lignende publikationer. Indikatoren peger på, at dansk energiforskning overordnet set har en meget høj gennemslagskraft globalt.

Endelig viser tabellens sidste kolonne, hvor stor en andel af landenes publikationer, der er blandt de 10 pct. mest citerede publikationer i verden inden for det pågældende forskningsfelt. Her ligger Danmark på en tredjeplads – igen efter Singapore og Hong Kong – med 22,6 pct. af de samlede videnskabelige energipublikationer, der er blandt de 10 pct. mest citerede på verdensplan.

Tabel 5.1 giver et samlet billede af, at dansk energiforskning er i den internationale elite. Danmark tilhører således en lille gruppe af førende energiforskningslande, der også omfatter Singapore, Hongkong, Schweiz, Holland og Australien³³.

5.3 Forskningsmæssige præstationer inden for energiteknologiske emneområder

Den første bibliometriske analyse giver ikke mulighed for at udpege konkrete forskningsemner, som ligger til grund for dansk energiforsknings pæne placering. Vi har derfor foretaget endnu en bibliometrisk analyse, der frem for standardiserede kategorier tager udgangspunkt i "aktive forskningsemner" (eller "topics" i Scopus-terminologi), der kan siges at have momentum eller være særligt fremtrædende i en given periode (2013-2018). Det vil sige, at emnet er præget af stor interesse og stigende forskningsaktivitet. Et forsknings-emne er i denne sammenhæng "en samling af videnskabelige publikationer med et fælles intellektuelt omdrejningspunkt". Emner identificeres på baggrund af citationssammenhæng. Det vil sige, at publikationer, der i høj grad citerer hinanden, grupperes under samme emne. Emner kan således være store/små, nye/gamle samt voksende/aftagende i størrelse. Mange emner er desuden multidisciplinære. I Scopus findes i alt 4.121 emner relateret til energiforskning i perioden 2013-2018, heraf har forskere ved danske forskningsinstitutioner bidraget til 1.223 emner. Disse emner er i Scopus rangeret efter, hvor fremtrædende de er globalt set under indikatoren "Topic prominence", der giver alle emner en score mellem 0-100³⁴.

I figur 5.1 har vi grupperet de 500 mest fremtrædende emner (højeste "Topic prominence"-score) inden for energiforskning i verden i 21 hovedområder. 24 af de 500 emner er udelukkende miljørelateret og er derfor ikke indgået i den videre analyse af energiforskning. Analysen bygger således på 476 emner - svarende til ca. top 10 pct. af alle energirelaterede forskningsemner i Scopus.

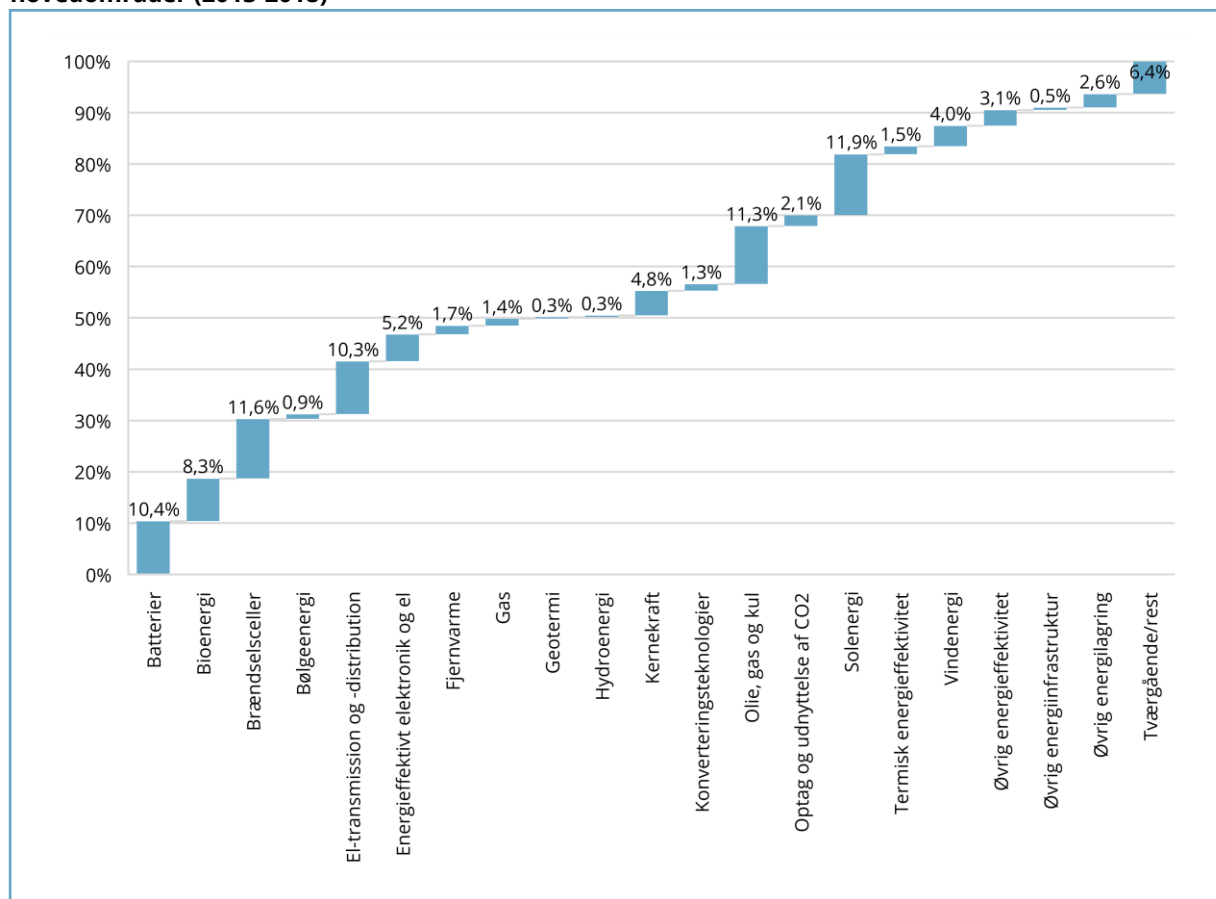
Figuren angiver, hvor stor en andel hvert af de 21 hovedområder publikationsmæssigt udgør af det samlede antal publikationer blandt de 10 pct. mest fremtrædende emner inden for energiforskning. Den giver

³³ Da analysen er gennemført på landniveau, vil regioner med fremtrædende energiforskning i store lande som fx USA blive hevet ned af landsgennemsnittet.

³⁴ Topic prominence er sammensat af tre metrikker: A) antal citationer for de publikationer der indgår i emnet, B) antal visninger i Scopus for de publikationer der indgår i emnet, og C) rangering af de tidsskrifter som publikationerne i emnet indgår i.

dermed et billede af, hvilke temaer inden for energiforskning der er stor interesse for i den internationale forskning.

Figur 5.1. Verdens 10 pct. mest fremtrædende emner inden for energiforskning, grupperet i hovedområder (2013-2018)



Kilde: IRIS Group på baggrund af Scival. Scival baserer sig på Scopus-data. Udtræk: december 2018.

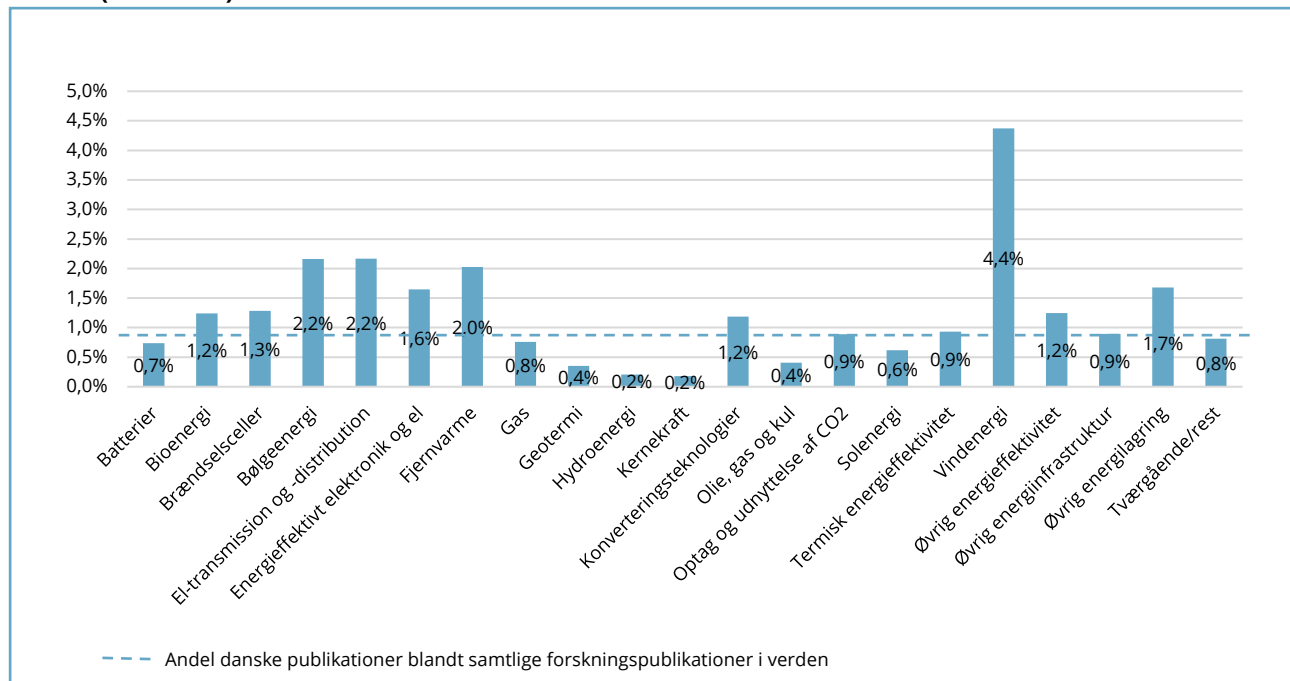
Note: Selvcitationer er inkluderet. Typer af publikationer: Alle.

Figuren viser, at især batteriteknologi (10,4 pct.), bioenergi (8,3 pct.), brændselsceller (11,6 pct.), el-transmission og -distribution (10,3 pct.), olie, gas og kul (11,3 pct.) samt solenergi (11,9 pct.) er fremtrædende områder i den globale energiforskning. Det er især genopladelige batterier, litiumbatterier og opladeteknikker, der optager emnerne under batteriteknologi. Inden for bioenergi er hyppige emner biomasse og biofuel. Intelligente og integrerede energisystemer (Smart Energy) fylder en del under el-transmissions og -distribution, mens solenergi primært dækker over forskning i solceller.

Det er dernæst interessant at kigge på, hvor Danmark har forskningsmæssige styrker. Dette har vi også set på med afsæt i verdens top 10 pct. mest fremtrædende energiforskningsemner.

Figur 5.2 viser således andelen af publikationer på verdensplan, der kommer fra forskere i Danmark blandt den mest fremtrædende (top 10 pct.) energiforskning i verden.

Figur 5.2. Andel danske publikationer blandt den mest fremtrædende (top 10 pct.) energiforskning i verden (2013-2018)



Kilde: IRIS Group på baggrund af Scival. Scival baserer sig på Scopus-data. Udtræk: december 2018.

Note: Selvcitationer er inkluderet. Typer af publikationer: Alle.

Figuren viser, at der er danske publikationer med i alle de 21 hovedområder. Danske publikationer fylder mest inden for områderne bølgeenergi (2,2 pct.), el-transmission og -distribution (2,2 pct.), fjernvarme (2 pct.) og især vindenergi (4,4 pct.).

Til sammenligning udgør samtlige danske forskningspublikationer lidt under 1 pct. af alle forskningspublikationer i verden, hvilket den stiplede linje i figur 5.2 indikerer.

Det generelle billede er således, at danske forskere er stærkt repræsenteret inden for en række områder af den mest fremtrædende energiforskning i verden.

Mens figur 5.2 giver et billede af de områder, hvor Danmark i særlig grad publicerer energiforskning, viser tabel 5.2 på næste side *kvaliteten* af den danske forskning inden for de 21 områder holdt op mod en gruppe sammenligningslande. Sammenligningslandene er valgt ud fra, hvilke lande der scorer højt på flere indikatorer i den første analyse (Singapore, Hongkong, Schweiz, Holland og Australien).

Som indikator for kvalitet har vi i lighed med den første analyse benyttet indekset for feltvægtet gennemslagskraft af forskningen (se afsnit 5.2), hvor værdien 1 svarer til verdensgennemsnittet. Et indekstal på 2 er således udtryk for, at publikationer inden for området citeres dobbelt så hyppigt som verdensgennemsnittet.

Tabel 5.2. Kvalitet af den mest fremtrædende (top 10 pct.) energiforskning i verden (2013-2018)

	Danmark (Feltvægtet gennemslagskraft af forskning)	Sammenligningslande (Feltvægtet gennemslagskraft af forskning)
Batterier	1,83	2,34
Bioenergi	1,64	1,70
Brændselsceller	2,11	2,11
Bølgeenergi	1,41	0,95
El-transmission og distribution	1,90	1,56
Energieffektivt elektronik og el	2,77	2,30
Fjernvarme	2,19	2,14
Gas	1,48	1,33
Geotermi	0,32	1,38
Hydroenergi	0,76	1,21
Kernekraft	0,90	1,06
Konverteringsteknologier	1,60	1,62
Olie, gas og kul	1,72	1,59
Optag og udnyttelse af CO2	1,40	1,81
Solenergi	1,54	1,96
Termisk energieffektivitet	1,24	1,54
Vindenergi	1,90	1,74
Øvrig energieffektivitet	1,51	1,64
Øvrig energiinfrastruktur	1,81	1,15
Øvrig energilagring	2,09	2,14
Tværgående/rest	1,89	1,73

Kilde: IRIS Group på baggrund af Scival. Scival baserer sig på Scopus-data. Udtræk: december 2018.

Note: Selvcitationer er inkluderet. Typer af publikationer: Alle. Feltvægtet gennemslagskraft af hvert forskningsområde er beregnet som gennemsnittet af hvert emnes "Field-Weighted Citation Impact", som indgår i området. Gruppen af sammenligningslande består af Singapore, Hongkong, Schweiz, Holland og Australien.

Tabellen viser, at Danmark på alle områder på nær geotermi, hydroenergi og kernekraft ligger over verdensgennemsnittet (der er 1,0). Kvaliteten af dansk forskning er særlig høj (indekstal over 2) inden for brændselsceller, energieffektiv elektronik og el (effektelektronik), fjernvarme og øvrig energilagring, der primært omfatter varmelagring. Og i forhold til sammenligningslandene ligger Danmark også pænt inden for bioenergi og el-transmission og distribution samt vindenergi (indekstal over 1,5).

Det skal igen understreges, at afsnittets anden analyse ser på de ca. 10 pct. mest fremtrædende energirelaterede emner i verden, og derfor ikke dækker al forskning inden for de viste hovedområder. Men når resultaterne fra den emnebaserede bibliometriske analyse sammenholdes med resultaterne fra afsnittets første bibliometriske analyse, der inkluderer al energiforskning, er det tydeligt, at dansk energiforskning er i den internationale elite, og at vi i Danmark har en række meget stærke forskningsmiljøer inden for konkrete energiteknologier (vindenergi, brændselsceller, effektelektronik og energilagring) og energiinfrastrukturer (fjernvarme samt el-transmission og -distribution).

6. Teknologiområder med særlige danske potentialer

Med afsæt i de forskellige delanalyser i afsnit 2-5 har vi i figuren neden for forsøgt at sammenfatte de vigtigste data, informationer og prognoser, der knytter sig til de områder, hvor Danmark har eksisterende eller potentielle styrkepositioner.

Det skal understreges, at mål, prognoser og data har forskelligartet karakter på tværs af teknologi-områderne. Derfor er det ikke muligt at foretage grundige sammenligninger. Men figuren giver et overblik med afsæt i de kvantitative og kvalitative data, som vi har gennemgået i de foregående afsnit.

Tabel 6.1. Sammenfatning af analysen

Teknologiområde	Megatrends og int. aftaler	Danske energipolitiske mål	Dansk forskningsstyrker?	Dansk erhvervsstyrke?
Vind	50 pct. af al elektricitet vil være sol- og vindbaseret i 2050. Mere end 70 pct. af de investeringer i energiteknologi vil ligge inden for sol og vind. EU-mål om 32 pct. vedvarende energi i 2030	Vedvarende energi skal udgøre 35 pct. af energiforbruget i 2035.	Meget stærk position.	Markant dansk styrkeposition. 112 mia. kr. i årlig omsætning og 54 mia. kr. i eksport.
Sol	Se oven for. Sol forventes at blive billigste energikilde fra 2021	Vedvarende energi skal udgøre 35 pct. af energiforbruget i 2035.	Ikke generel styrkeposition, men stærke niches inden for solvarme, visse typer af solceller og relaterede områder (fotonik, design, mv.)	Mindre område, men stærke niches inden for bl.a. solvarme og design af solfarme.
Bølgeenergi	Ikke prognoser (umoden teknologi)	Ikke specifikke mål, men omfattet af forskningspulje.	Markant forskergruppe på AAU.	En del mindre iværksættervirksomhed er på området (umodent marked)
Geotermi	Ikke prognoser (umoden teknologi)	Ikke specifikke mål, men omfattet af forskningspulje.	Nej. Men stærke forskningsmiljøer på AAU og GEUS	Flere store virksomheder med markante kompetencer på området. Danfoss og Mærsk foretager store investeringer.
Bioenergi	EU-mål om 32 pct. vedvarende energi i 2030. 4-dobling i efterspørgslen efter bio-brændstoffer mod 2030	Ikke specifikke mål, men omfattet af forskningspulje samt af pulje til udbygning af energinettet.	Styrker inden for biomasse, enzymer, biogas og biobrændsler	Mindre styrkeposition i vækst (25 mia. kr. i årlig omsætning)

Teknologier til optag, lagring og anvendelse af CO ₂	Stor vækst i det globale marked for CCS-teknologier (4,2 mia. USD i 2022)	Ikke specifikke mål. Men vigtigt område for at realisere mål om klimaneutralitet.	Nej, men helt nye forskningsfelt	Meget umodent marked
Olie & gas	Aftagende global efterspørgsel pga. int. klima- og energimål	Mål om uafhængighed af kul, olie og naturgas	Nej	55 mia. kr. i årlig omsætning
Fjernvarme	Forventninger om øget udbredelse i flere lande og efterspørgsel efter løsninger, der øger udnyttelsen af vedvarende energikilder	Vigtig for forsyningssikkerhed. Kan frit investere i grønne energikilder	Meget markant styrkeposition	Meget veludbygget fjernvarmenet i Danmark. 44 mia. kr. i årlig omsætning
Energilagring	Forventninger om mere end 30-dobling af årlige investeringer globalt frem mod 2050	Afgørende for realisering af mål om øget brug af vedvarende energi i energisystemerne.	Fleere markante miljøer – bl.a. brændselsceller, elektrolyse og termisk lagring.	Fleere større virksomheder med markant FoU-indsats
Energikonvertering (herunder "Power 2 X") og elektrificering	Stort behov for at udvikle bæredygtige løsninger til transportsektoren og for at kunne anvende strøm til andre formål	Bl.a. afgørende for mål om CO ₂ -neutralitet i transportsektoren.	Fleere markante miljøer – bl.a. brændselsceller og effektelektronik (AAU). Dog ikke markant styrkeposition	Fleere større virksomheder med markant FoU-indsats (fx Haldor Topsøe). Fleere internationale virksomheder har lokaliseret sig i DK (fx Ballard)
Smart Energy (herunder smart grid)	Stor stigning i digitalt forbundne enheder og globale ambitioner om intelligente energinet	Omfattet af forskningspulje	Markant styrkeposition. Fleere stærke forskergrupper (AU, AAU og DTU)	Umodent marked – flere små nichevirksomheder
Energieffektivitet	Ambitiøse mål i EU om at øge energieffektiviteten.	500 mio. kr. afsat til energieffektiviseringer af private og industrielle boliger.	Stærke forskningsmiljøer inden for energieffektive bygninger (bl.a. DTU Byg).	Markant dansk styrkeposition

Tabellen viser et lidt sammensat billede:

- Vind, fjernvarme og energieffektivitet skiller sig ud som områder med markante danske styrkepositioner, og som samtidig er områder, hvor megatrends og danske mål peger i retning af store vækstpotentialer.
- Bølgeenergi, bioenergi og geotermi er vedvarende energikilder, hvor der er stor usikkerhed om det langsigtede globale potentiale og den fremtidige efterspørgsel. Danmark har på disse områder styrker enten forskningsmæssigt eller erhvervmæssigt (især bioenergi, der også er den mest modne af disse teknologier).
- Olie og gas fremstår som en styrkeposition med et begrænset potentiale pga. de internationale klimapolitiske mål mv.

- Teknologier til optag og lagring af CO₂ fremstår som et område, hvor der vil komme store FUD-investeringer i de kommende år i Europa pga. målet om CO₂-neutralitet.
- Energilagring, energikonvertering og Smart Energy er alle områder, der bliver afgørende for at realisere de internationale klima- og energimål. Der forventes stor vækst i efterspørgslen efter teknologi på disse områder og i FUD-investeringerne. Danmark fremstår især stærk inden for energilagring og Smart Grid, men områderne er sammenhængende, og derfor bliver det formentlig ikke mindst de lande, der formår at udvikle og organisere tværdisciplinære og tværsektorielle FUD-projekter, der kommer til at høste fordelene ved væksten i den globale efterspørgsel.

Samlet tegner der sig et billede af, at en dansk FUD-indsats på energiområdet kan omfatte ti sammenhængende fokusområder.

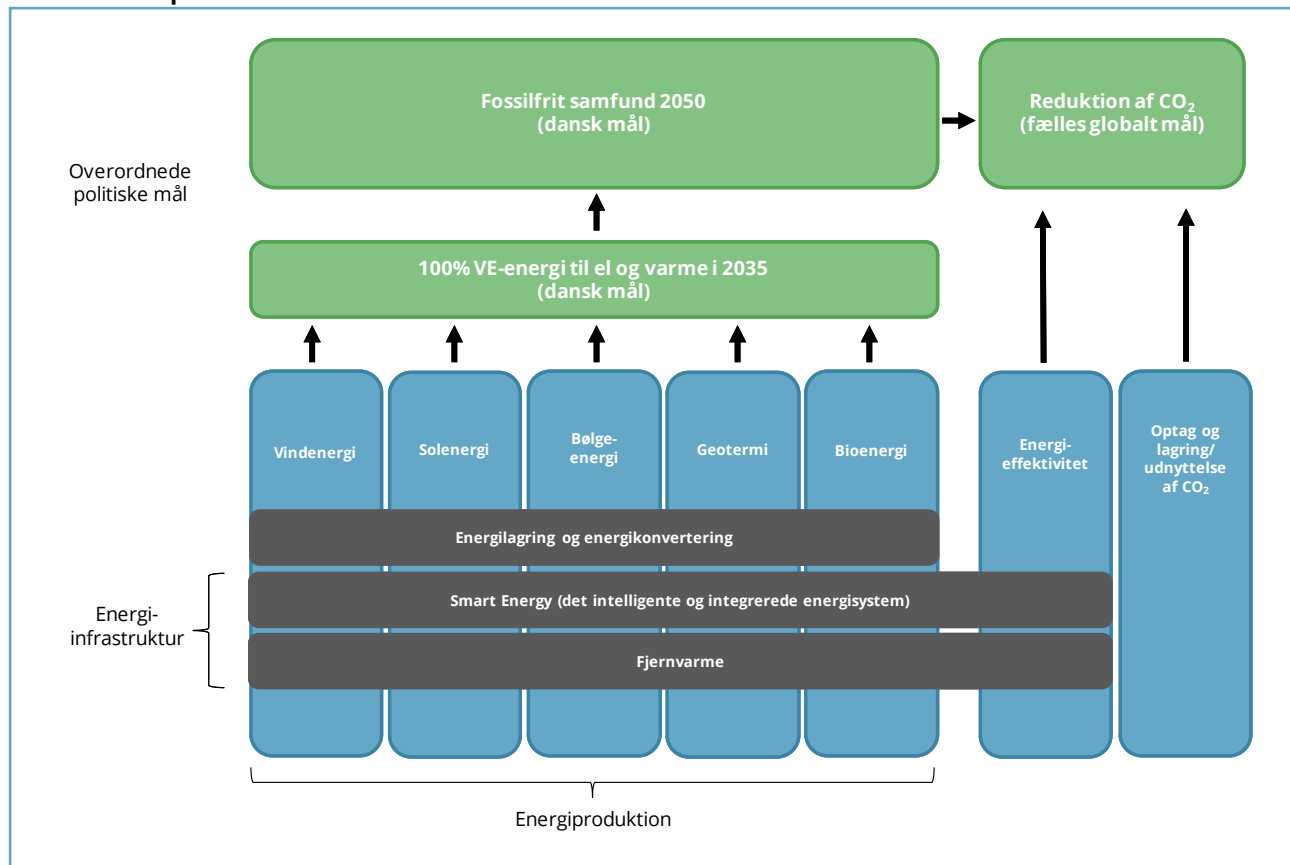
Dels skal der investeres i at fastholde og udvikle vores styrkepositioner inden for vedvarende energi-produktion. Her kan indsatsen opdeles i vind, sol og til dels bioenergi (de mere modne teknologier) og teknologier, der indeholder et stort potentiale på længere sigt, men som også er forbundet med betydelig usikkerhed (bølgeenergi og geotermi).

Dels skal der investeres i en række teknologier, der er nødvendige for at indfri målene om øget integration af vedvarende energi i energisystemerne og CO₂-neutralitet. Det gælder smart energy, integration af vedvarende energi i fjernvarmenettet, energilagring og energikonvertering.

Hertil kommer energieffektive teknologier og teknologier til lagring og optag af CO₂, der begge er afgørende for at realisere de globale klimamål.

Figuren neden for giver et overblik over fokusområderne, og hvordan de relaterer sig til de overordnede politiske mål.

Figur 6.1. Forslag til fokusområder i FUD-indsatsen på energiområdet og deres relation til de overordnede politiske mål



Kilde: IRIS Group

Relaterede forskningsmæssige og erhvervmæssige styrker

Det er vigtigt at understrege, at fremtidens energiteknologi ikke alene bliver udviklet i et samarbejde mellem energiindustrien og traditionelle energiforskningsmiljøer.

De gennemførte interviews understreger, at fremtidens FUD-projekter også kommer til at trække på forskning og kompetencer inden for bl.a. IKT, big data, blockchain, materialeteknologi, kemi, fysik, design, mv. Dette er også afspejlet i gennemgangen af de danske energiteknologiske potentialer i kapitel 7.

Men det betyder bl.a. også, at gennemgangen i kapitel 5 og kapitel 6 oven for ikke giver det fulde billede af danske forskningsstyrker relateret til teknologiudvikling inden for de forskellige energiteknologiområder.

Det er generelt en vigtig pointe, at de kommende års FUD-projekter vil blive mere tværfaglige og inddrage flere typer af kompetencer i både forskningsverdenen og i erhvervslivet. Det betyder også, at opgaven med at udvikle nye projekter, matche virksomheder og forskningsmiljøer, inddrage udenlandske forskningsmiljøer, mv. bliver vigtigere i fremtiden.

7. Uddybning af danske energiteknologiske potentialer

7.1 Indledning

I dette afsluttende kapitel har på baggrund af interviews med ca. 50 forskere, virksomheder og brancheorganisationer – suppleret med desk research – forsøgt at uddybe de danske styrker og potentialer inden for hvert af områderne i figur 6.1. De enkelte afsnit afsluttes endvidere med en vurdering af, hvad det især er vigtigt at sætse på i den danske FUD-indsats for at realisere potentialerne.

7.2 Vindenergi

Vindenergi er en etableret dansk styrkeposition med en omsætning på mere end 100 mia. kr., mere end 30.000 beskæftigede og en eksport på over 50 mia. kr., jf. afsnit 4. Hertil kommer en global førerposition inden for vindenergiforskning. Danmark står stærkt inden for både onshore og offshore vindmøller, og vi er det land i verden, hvor andelen af vind i energisystemet er størst.

Vindindustrien og FUD-indsatsen inden for vind står over for, hvad aktører i branchen betegner som et paradigmeskifte³⁵. Frem til i dag har innovationen i sektoren primært været drevet af ambitionen om at gøre vindenergi billig og konkurrencedygtig. I dag er onshore vind den billigste form for energi i produktionen af el.

Næste fase i udviklingen handler om at udvikle vindenergi fra at være et nicheområde i energiproduktionen til at blive en pålidelig ryggrad i energisystemet, hvor:

- Udfordringer omkring den variable produktion af vindkraft er håndteret.
- Vindenergi indgår i et samlet og fleksibelt energisystem, der baserer sig på flere vedvarende energiformer.

Danmarks stærke position inden for vindenergi skaber naturligvis et unikt udgangspunkt. Men både de internationale fremsyn og interviewene med forskere og virksomheder peger i retning af, at paradigmeskiftet og den stigende vægt på offshore vind betyder markante krav om innovation på især følgende områder:

- Fortsat fokus på at billiggøre, effektivisere samt skabe større sikkerhed omkring drift og produktion af især offshore vindenergi.
- Integrationen af vindenergi som hovedenergikilde i energisystemet kræver markante teknologiske forbedringer inden for lagring af energi (se afsnit 7.8) samt udvikling af hybride og intelligente energisystemer, der balancerer forbrug med el-priser og produktion af energi (se også afsnit 7.9).
- Produktion af vindenergi i markant større skala indebærer et behov for at udvikle alternative anvendelser af strøm fra vindmøller, der kan sikre god indtjening og anvendelse af strøm i perioder med høj energiproduktion.

³⁵ Se også Megavind (2018); "Wind power – Annual research and innovation agenda 2018"

Det er endvidere en gennemgående pointe på de tre ovennævnte områder, at FUD-indsatsen også kommer til at trække på forskningsmæssige spidskompetencer, der ligger uden for de traditionelle vindforskningsmiljøer.

Fx bliver digitalisering, big data, machine learning og sensorsystemer en vigtig del af fremtidens vindmølleprojekter – fra planlægning, over design og produktion, til transport, installation, drift og vedligeholdelse.

Herudover er der behov for forskning i batteriteknologi og i batteriteknologiens anvendelse i energisystemer samt i teknologier til energikonvertering (se også afsnit 7.8).

Vindmølleaktørerne peger i interviewene på flere områder, hvor der er brug for forskning, udvikling og demonstration, hvis vi skal fastholde konkurrencepositionen inden for vind:

- **Fortsat udvikling af mølleteknologien**, der bl.a. vedrører FUD-projekter inden for materiale-teknologi og hydraulik samt udvikling af nye metoder til at designe, validere og tilpasse stadigt større turbiner og rotor til lokale og ekstreme vejrforhold.
- **Offshore systemer**, der bl.a. vedrører forskning i flydende fundamenter (der kan masseproduceres modsat faste fundamenter) samt i design og optimering af offshore vindmøllefarme samt offshore grid- og distributionssystemer.
- **Optimering af drift og vedligehold**, der bl.a. vedrører forskning i avancerede datamodeller, machine learning, anvendelse af high performance computere og sensorteknologi til at optimere planlægning, overvågning og vedligeholdelse af vindmølleparker. Hertil kommer teknologier og modeller til at optimere strømproduktionen i forhold til vindretning, turbulens, mv.
- **Integration**, der bl.a. vedrører forskning i komponenter, systemer og teknologi (herunder energilagring), der øger anvendelsen af vindenergi (i kombination med andre vedvarende energiformer) i energisystemerne og kan sikre stabilitet og sikkerhed i fremtidens el-produktion.
- **Energikonvertering** i form af teknologier, hvor (overskuds)strøm konverteres effektivt til andre energiformer (fx gasser der kan anvendes i transportsektoren) eller kemikalier (se også afsnit 7.8).

7.3 Solenergi

Solenergi er først og fremmest blevet en stor industri i Asien, hvor specielt Kina står stærkt. Den danske solenergisektor er reduceret en del de senere år, hvilket bl.a. hænger sammen med, at produktionen af solcellepaneler har koncentreret sig i Kina.

Der er dog flere forhold, der gør, at solenergi er interessant også i dansk energiteknologisk perspektiv. For det første er sol den energi- og varmekilde, der generelt forventes at opleve den største globale vækst i de kommende år. Det gør det naturligt i sig selv relevant at vurdere, om Danmark på forskellige nicheområder kan få del i det voksende marked. For det andet er sol en del af løsningen i fremtidige, hybride energisystemer. Det gør det vigtigt, at vi både fokuserer på vind- og solenergi i udviklingen af løsninger til fremtidens el-net.

De gennemførte interview peger i retning af, at Danmark har styrker og potentialer på følgende områder:

- **Design, bygning, drift og overvågning af solcelleanlæg.** Danmark har en mindre gruppe af virksomheder (fx European Energy, Better Energy og Energi Innovation), der har specialeret sig i at designe, bygge og drifte solcelleanlæg, herunder udvikle services til optimering af energiproduktion.
- **Materialer, komponenter og systemer til solcelleanlæg.** Flere danske virksomheder, herunder IB Andreasen og Linax, leverer produkter og komponenter, der indgår i bygning og konstruktion af solcelleanlæg.
- **Bygningsintegrerede solcelleløsninger.** Både forskere og virksomheder forventer en stærk vækst i brugen af solcellepaneler i nybyggeri på facader, i vinduer, på tage mv. Danmark har styrker inden for design, arkitekter og har et godt udgangspunkt for at udvikle æstetisk flotte solcelleløsninger til fremtidens byggeri. Flere mindre danske virksomheder er specialiserede inden for design, befæstning og integration af solcellepaneler i byggeri.
- **Solceller integreret i produkter.** Solceller vil i stigende grad blive anvendt som strømkilde i produkter, herunder inden for belysning, navigationsudstyr, transportable køleskabe, mv. Danmark har flere virksomheder, der er specialiserede inden for anvendelse af produktintegrerede solceller (fx Actec Solar og Dansk Solenergi) samt virksomheder, der eksporterer solcellebaserede produkter (fx Outsider og AKJ Inventions).
- **Solvarmeanlæg.** Danmark har en styrkeposition inden for bygning og drift af solvarmeanlæg (solfangere), hvor Arcon-Sunmark er verdensførende.
- **Lagring af solvarme.** Solvarmeanlæg anvendes i stigende grad som kilde i varmforsyningen, og der vil rundt omkring i verden blive investeret mere i teknologi til lagring af solvarme (damvarmeanlæg). Danmark er samtidig forskningsmæssigt førende på området (DTU Byg).

Samlet set rummer de ovenstående områder formentlig et betydeligt potentiale pga. den globale vækst i efterspørgslen efter anlæg og solcellebaserede løsninger. Samtidig har vi en række stærke forskningsmiljøer inden for relevante områder som materialeforskning, fotonik (lys), design, byggeri samt solcelle- og solvarmeteknologi.

De interviewede forskere og virksomheder peger på, at udnyttelse af potentialet kræver FUD-projekter på følgende områder:

- **"Kloge solcellefarme"**, der bl.a. vedrører udvikling og demonstration af løsninger med fleksible solcellemoduler (der drejer sig efter solen), sensorer til måling af lys- og strålingsstyrke fra solen samt teknologier til overvågning af behov for vedligeholdelse og reparation af solcelleanlæg.
- **"Smarte løsninger" til integration af solceller i bygninger**, der bl.a. vedrører forskning og udvikling i løsninger inden for farvede solceller, lysrefleksion, konstruktion og design af solcelleløsninger til bygninger, montagesystemer, mv. Hertil kommer drift og overvågning af bygningsintegrerede solcelleløsninger.
- **Batteriteknologi**, der både vedrører udvikling af batterier til lagring af energi produceret i store anlæg og i stand alone produkter (som lamper og navigationsudstyr).
- **Udvikling af teknologi til damvarmelagre**, der vedrører væsker, der kan fungere som isolerende låg til lagring af solopvarmet vand.

7.4 Bølgeenergi

Danmark har i mere end tyve år forsket og eksperimenteret med bølgeenergi. I forhold til andre vedvarende energikilder som vind og sol er bølgeenergiteknologi relativ umoden og stadig under udvikling flere steder i verden. Forskningsgruppen for bølgeenergi ved Aalborg Universitet er det største bølgeforskningsmiljø herhjemme med ca. ti forskere tilknyttet. Miljøet fokuserer ikke på én bestemt teknologi, men forsker, udvikler og underviser bredt inden for bølgeenergifeltet. Derudover er DTU Mekanik en væsentlig aktør pga. deres viden om hydrodynamik (læren om væskers bevægelse). Dansk bølgeenergiforskning er internationalt anerkendt og tiltrækker forskere fra andre europæiske lande, men konkurrencen fra forskningsmiljøer i bl.a. Skotland, Irland, Sverige, Spanien og USA er stigende.

Danske universiteter har også udklækket en række bølgeenergivirksomheder gennem årene. Fælles for virksomhederne er, at de typisk støder på udfordringer i de senere udviklings- og demonstrationsfaser, når de skulle finansiere større anlæg (prototyper) ude på havet. Det er en væsentlig årsag til, at der endnu ikke er skabt kommercielle succeser. Der har desuden været mange bud på teknologier til at omdanne bølgekraft til elektricitet. Udfordringen teknisk set er ifølge Aalborg Universitet at finde den rette balance mellem energiproduktion og hårdførhed, da store anlæg kan producere mere energi, men samtidig er mere udsatte i uvejr.

Da bølgeenergiteknologier er umodne, er markedet også umodent globalt. Markedet er naturligvis størst i områder med meget bølgekraft. På baggrund af et regneeksempel har Partnerskabet for Bølgekraft vurderet, at bølgekraftværker placeret over en 150 km strækning i en afstand på 100 km fra Jyllands vestkyst kan levere en elproduktion svarende til ca. 15 pct. af det danske elforbrug³⁶. Dansk bølgeteknologi bør dog udvikles med eksport for øje, da markedspotentialet i lande med kyst til fx Atlanterhavet er meget større.

Der vurderes også at være et potentiale i at etablere flydende bølgeenergianlæg i forlængelse af offshore vindmølleparker i Danmark, da det samme areal således kan udnyttes til at producere mere energi. Man vil ligeledes kunne opnå en synergieffekt ved at benytte samme kabel til at transportere strømmen i land, og der er behov for mindre vedligeholdelse.

Danmark har gode forudsætninger (i form af et stærkt forskningsmiljø og flere iværksættervirksomheder) for at udvikle nye teknologier og koncepter for bølgeenergi. Men udviklingstiderne er lange, og det er vanskeligt at finde finansiering til større demonstrationsanlæg ude på havet.

De interviewede forskere og virksomheder peger således på, at der især er behov for FUD-projekter inden for:

- **Demonstration til havs.** Der er et særligt behov for støtte til at bringe teknologier videre fra TRL 6 og 7, hvor teknologierne skal demonstreres til havs. Det er dyrt og svært for Danmarks relativt små bølgeenergivirksomheder at finansiere denne fase. Da markedspotentialet for bølgeenergi i høj grad skal findes i lande med mere bølgekraft end Danmark, vil en dansk FUD-indsats med fordel også kunne støtte til demonstration til havs uden for Danmark. Den konkrete teknologi vil derved blive testet i det rette miljø, og være tættere på eksportmarkedet.

³⁶ Partnerskabet for Bølgekraft (2012); "Bølgekraftteknologi", side 15.

7.5 Geotermi

Geotermisk varme har indtil for nylig været et nicheområde i udviklingen af dansk energiteknologi. Forsknings- og rådgivningsinstitutionen GEUS under Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet har dog arbejdet med geotermi siden 1976. Viden om undergrunden er løbende blevet forfinet, og der findes i dag 100 borer i Danmark på baggrund af hvilke, at potentialet for geotermi er kortlagt.

Udnyttelse af geotermisk varme sker typisk ved, at varmt vand fra undergrunden pumpes op fra en produktionsboring, sendes gennem et anlæg, hvor en del af vandets varme ekstraheres via varmepumper, hvorefter det afkølede vand returneres til samme geologiske reservoir i tilpas afstand fra produktionshullet.

Der er ikke tale om nye teknologier. Geotermi har været kendt og brugt i mange lande længe. Tre faktorer er imidlertid udslagsgivende for den aktuelt stigende interesse for geotermi i Danmark: 1) stigende oliepriser, 2) målene om grøn omstilling, og 3) mere kvalificeret viden om undergrunden i Danmark, hvilket reducerer usikkerheder ved at starte store geotermi-projekter.

På den baggrund besluttede Mærsk i begyndelse af 2017 at foretage en satsning på området. Det blev besluttet at lægge aktiviteterne i A. P. Møller Holding for at sikre tålmodig kapital fra egen fond, samt at aktiviteterne ville kunne varetages som et startup-projekt. 50 års erfaring med borer i undergrunden fra Mærsk's olie- og gasaktiviteter er oplagt at kanalisere over i udvinding af geotermi, der ligeledes forudsætter dyb forståelse af undergrunden. I oktober 2018 indgik A.P. Møller Holding Invest og Aarhus Kommune en aftale om at begynde udviklingen af Danmarks største geotermianlæg i Aarhus med henblik på at udnytte geotermisk varme i fjernvarmesystemet. Der findes i dag tre mindre geotermiske anlæg i Danmark. Udfordringen har hidtil været at skalere geotermisk varmeproduktion til større dele af det danske fjernvarmenet, da fjernvarmeselskaberne ikke har mulighed for at foretage investeringer og satsninger i den nødvendige størrelsesorden.

Forretningsmodellen for Mærsk er langsigtet og med eksport for øje. Der investeres i et hjemmemarked, som kan bruges som business case, når geotermi og fjernvarmesystemer skal eksporteres. Ambitionen for A.P.Møller Holding Invest er at eje og drive de geotermiske anlæg og brønde og sælge varme til fjernvarmeanlæggene. Specielt Japan og Kina er potentielle eksportlande for fjernvarmeanlæg baseret på geotermi, da der findes gode geologiske forhold og mange mennesker samlet i store byer.

Andre danske virksomheder med ekspertise i fjernvarmeanlæg vil ligeledes nyde godt af en dansk styrkeposition, der kombinerer geotermi og fjernvarme, da det vil åbne for yderligere et eksportpotentiale af udstyr og materialer af den rette kvalitet, der kan tåle det saltholdige grundvand, der pumpes op. Mærsk har i den henseende allerede indgået et strategisk partnerskab med Danfoss.

Endelig kan der på længere sigt tænkes et marked for metoder til sæsonlagring af varme. Der er på den nordlige halvkugle et potentiale i at sæsonlagre varme fra geotermi, således at geotermiske anlæg også kan køre om sommeren, hvor der ikke forbruges varme, men varmen gemmes til vintermånederne.

Der er gennemført interview med A.P. Møller Holding Invest og GEUS. De to aktører peger samlet på et behov for en FUD-indsats på følgende områder:

- **Bedre forståelse af, hvordan flow-potentialet bevares, både i reservoiret generelt og specielt i injektionsbrønde.** Der er behov for øget viden om de kemiske reaktioner, der sker i reservoiret og i anlæggene, når det saltholdige grundvand hhv. køles eller genopvarmes.

- **Udvikling af særligt hårdført udstyr og materialer til geotermiske anlæg baseret på viden om vandkemi.** Det er vigtigt at have kendskab til den kemiske sammensætning af det vand, som hentes op fra produktionshullet, da vandkemi ofte vil være afgørende for hvilke materialer og komponenter, der skal anvendes til det geotermiske anlæg.
- **Udvikling af metoder til sæsonlagring af varme.** Et geotermisk anlæg suppleret med en lagerboring kan teoretisk set være meget velegnet til sæsonlagring af varme. Der er dog brug for mere viden om, hvordan sandstensreservoiret reagerer kemisk og fysisk på lagring af varme ved en temperatur, som ligger over formationernes naturlige temperatur.

7.6 Bioenergi

Danmark har siden 80'erne opbygget en stærk position inden for bioenergi i den forstand, at der er blevet etableret og omstillet mange kraftvarmeverker til biomasse. Det er sket gennem politisk regulering og den offentlige FUD-indsats, der også har fokuseret på landbrugets rolle som leverandør af restprodukter. Det betyder, at Danmark i dag har en styrkeposition inden for brug af biomasse samt produktion og drift af biomassefyrede kedler. Endvidere har Danmark også en styrkeposition inden for biogasanlæg, og de store danske leverandører (fx Xergi, Bigadan, Lundsby, Combigas) sælger og opfører godt halvdelen af deres biogasanlæg i udlandet³⁷.

De gennemførte interview peger i retning af, at der er et fortsat vækstpotentiale i forhold til at eksportere viden og teknologi om biomassebaseret kraftvarmeproduktion. Selvom Danmarks elproduktion i stigende grad bliver baseret på vind, er der flere steder i udlandet stadig stor interesse for biobaseret kedelteknologi. Og det kræver løbende udvikling og optimering af de eksisterende teknologiske løsninger, hvor Danmark har et stærkt udgangspunkt.

Samtidig peger både prognoser³⁸ og interviewpersoner på, at de største teknologiske og kommercielle potentialer inden for bioenergi knytter sig til udvikling af biobrændstoffer til transportsektoren. Der er således stor international fokus på, hvordan der kan udvikles energi- og omkostningseffektive, biobaserede brændstoffer til særligt fly- og skibsindustrien, hvor anvendelse af flydende brændstoffer også på langt sigt kan vise sig at være den mest bæredygtige løsning (se også afsnit 7.9 om energikonvertering).

Der eksisterer flere forskellige og potentielt konkurrerende teknologiske løsninger inden for biobrændstofområdet. Det gælder bl.a. i forhold til biobrændstoffer, som er udviklet via henholdsvis termiske og biologiske processer. Og Danmark har styrker, potentialer og erfaringer inden for begge områder. De termisk udviklede biobrændstoffer har bl.a. afsæt i forskning på Aalborg Universitet og er baseret på den såkaldte hydrothermal liquefaction (HTL) teknologi, der i dag kommercialiseres af virksomheden Steeper Energy under navnet Hydrofaction. De biologisk udviklede biobrændstoffer knytter sig bl.a. til anden generations bioethanol eller teknologier afledt heraf og udvikles af større danske virksomheder som Novozymes og Ørsted.

De interviewede forskere og virksomheder peger på, at der i forhold til at udvikle løsninger på biobrændstofområdet er behov for FUD-projekter på følgende områder:

- **Optimering af produktionsprocesser inden for biomassebaseret kraftvarme-produktion.** Herunder i forhold til at nedbringe både anlægs- og produktionsomkostninger samt

³⁷ Kilde: EUDP (2017): "EUDPs strategi 2017 – 2019" s. 7.

³⁸ IEA (2017): "Technology Roadmap – Delivering Sustainable Bioenergy"

yderligere reduktion af CO₂-udledning i produktionsprocessen, idet det er afgørende for teknologiens muligheder for at bidrage til de overordnede klimamål, at CO₂-udledningen nedbringes til et minimum.

- **Udvikling af teknologi til anvendelse af nye typer af biomasse** som eksempelvis affald eller restfraktioner, der yderligere kan reducere miljøbelastningen og CO₂-udledningen.
- **Udvikling af konverteringsprocesser**, der udnytter og omdanner en større del af biomassen til brændsler.
- **Udvikling af effektive og økonomiske konkurrencedygtige biobrændstoffer** der kan anvendes direkte (drop-in) i stedet for konventionelle fossilbaserede brændstofkilder inden for den tunge transportindustri. Dvs. uden behov for omstilling af eksisterende motorer og systemer.
- **Udvikling af produktionsplatforme, der integrerer termiske og biologiske processer**, hvor eksempelvis restfraktioner fra ethanol- eller biogasprocesser yderligere omdannes til biobrændstoffer ved termiske processer.

Herudover peger interviewpersonerne på, at der er behov for at udvikle kommercielt bæredygtige forretningsmodeller, som skaber incitamenter til at investere og etablere de nødvendige produktionsfaciliteter inden for biobrændstof i Danmark. Herunder fx ved i en periode at skabe større sikkerhed om afregningspriserne for biobrændstof.

7.7 Energieffektivitet

Danmark har i næsten fem årtier opbygget stærke kompetencer inden for energibesparende løsninger og energieffektive produkter. Oliekrisen i 1970'erne satte for alvor fokus på energieffektivitet og åbnede et marked for energieffektive produkter, som en række af Danmarks største virksomheder har udviklet ekspertise i, herunder Grundfos (pumper), Danfoss (varmeregulering), Velux (vinduer) og Rockwool (isolering).

Krav om en mere effektiv udnyttelse af energi følger af målene for EU's Energiunion (se afsnit 2.3.2). Der forventes derfor en fortsat stigende efterspørgsel efter energieffektive løsninger for at nå det fælles mål om at reducere udledningen af CO₂.

I en nyere analyse fra Dansk Energi udpeges fem områder med betydeligt energieffektiviseringspotentiale frem mod 2030: Erhvervslivet, energirenovering af bygninger, individuel opvarmning, fjernvarme og transport³⁹. Energieffektiviseringspotentialet i erhvervslivet (særligt produktionserhverv) udgør det største potentiale i Dansk Energis analyse, men det understreges i analysen, at alle fem områder bør bringes aktivt i spil i en fremadrettet energipolitik.

De gennemførte interview viser, at der i forhold til udvikling af ny teknologi til energieffektiviseringer er store potentialer i Danmark inden for **effektelektronik**, hvor vi står stærkt både forsknings- og erhvervsmæssigt. Effektelektronik er den teknologi, som anvendes, når man skal konvertere elektrisk energi fra én form til en anden. Effektelektronik er afgørende for både kvaliteten og effektiviteten af den elektricitet, som produceres fra f.eks. vind- og solenergi. Men teknologien bruges også til intelligent styring

³⁹ Kilde: Dansk Energi (2018): "Energieffektiviseringspotentiale 2020-30".

af elektroniske enheder og er derfor et vigtigt element i bl.a. elbiler og intelligente bygninger og energisystemer (se også afsnit 7.9 om det intelligente og integrerede energisystem).

Interviewene og internationale analyser⁴⁰ peger endvidere på **IKT og Internet-of-Things** som væsentlige teknologiområder i et mere energieffektivt samfund. Digitalt forbundne enheder skal være fundamentet i smarte bygninger og bygningskomplekser, men også i byggeprocesser (både nybyggeri og renoveringer) kan digitale værktøjer danne holistiske perspektiver, der tager højde for alle tænkelige faktorer, som påvirker energiforbrug og indeklima.

De interviewede forskere og virksomheder peger på, at udnyttelse af potentialet kræver FUD-projekter, der i går på tværs af fagområder - både computer science, elektronik og materialer, men også antropologi og samfundsvidenskabelige discipliner. Det er desuden vigtigt, at FUD-projekter foregår som samarbejder på tværs af universiteter og industri. Indsatsen bør ifølge interviewpersonerne fokusere på:

- **Forskning i effektelektronik.** Både med henblik på at øge kvaliteten og effektiviteten af produceret elektricitet fra vedvarende energikilder og til udvikling af intelligent, energieffektiv styring af elektroniske enheder⁴¹.
- **Intelligent integration af bygninger og deres elektroniske enheder i energisystemet,** så det samlede energiforbrug kan fordeles mere jævnt over døgnet. Dette vil reducere behovet for at udbygge elnettet til at kunne håndtere spidsbelastninger i et samfund med øget elektrificering.
- **Udvikling af digitale værktøjer til byggeriet,** der understøtter energieffektive byggeprocesser og bygninger.

Hertil kommer forskning, udvikling og demonstration inden for bygningsintegrerede solcellesystemer, jf. afsnit 7.3.

7.8 Energilagring og energikonvertering

Energilagring og -konvertering dækker over en række teknologier, der har til formål at lagre eller konvertere energi. Olie, kul og gas er fra naturens side "nemme" energilagere, da disse energikilder efter udvinding relativt nemt kan opbevares og gemmes. Energi fra vedvarende energikilder, som fx elektricitet genereret fra vinden eller varme fra solen, er derimod vanskeligere at opbevare. Og da produktionen fra mange vedvarende energikilder fluktuerer afhængig af vejr og vind, er der behov for at kunne gemme energi ved overproduktion til tidspunkter med underproduktion for at sikre en stabil energileverance og en attraktiv pris. Som led i den grønne omstilling og øget elektrificering er omkostningseffektive lagringsmetoder eller teknologier til at konvertere energien til andre former således afgørende for at få fuldt udbytte af vedvarende energikilder.

Specielt teknologier til lagring af elektricitet i stor skala er globalt efterspurgt på grund af den stigende produktion af el fra især sol- og vindenergi. Foruden lagring i batterier kan den elektriske energi også konverteres til andre former (fx kemikalier eller gasser). Power-to-X er en samlebetegnelse for teknologier, der kan konvertere elektricitet til "X" (fx brint, gas, varme, kemikalier etc.) med henblik på lagring eller brug i andre energiforbrugende sektorer. Power-to-X-teknologier er generelt umodne, og der er langt til

⁴⁰ Se fx International Energy Agency (2017); "World Energy Outlook 2017".

⁴¹ Uddannelses- og forskningsministeren godkendte i november 2018 en bevilling på 31,15 mio. kr. til X-Power, som er et nyt nationalt center for pålidelighedstest af effektelektronik. Centeret skal ledes af AAU, som er verdensførende inden for effektelektronik, og det giver mulighed for omfattende tests og analyser af fejlmekanismer i effektelektroniske systemer og komponenter.

kommercialisering af produkter på dette område. Men de betragtes som afgørende for et fremtidigt, bæredygtigt og CO₂-neutralt energisystem baseret på vedvarende energi. Dels fordi det er vigtigt med attraktive alternativer til anvendelse af energi i perioder med høj produktion (og lave priser på strøm). Dels fordi energikonvertering er et centralt element i udviklingen af en bæredygtig transportsektor på områder, hvor el (endnu) ikke er løsningen (lastbiler, fly og skibe).

Danmark har udviklet stærke forskningsmiljøer og industrielle kompetencer inden for en række forskellige energilagring- og konverteringsteknologier, der vurderes at have store potentialer i fremtidens energisystem. Det drejer sig særligt om:

- **Solvarmelagring**, jf. afsnit 7.3.
- **Batteriteknologi**. Særligt i transportsektoren forventes efterspørgslen efter nye batterityper med forbedret energi- og effekttæthed, holdbarhed og sikkerhed at stige. Derudover er der også et stigende behov for batterier i vindmølleindustrien samt til private husstande med henblik på lagring af overskudsenergi fra egen produktion (fx solceller). Dansk batteriforskning er sammen med Tyskland, Frankrig, Sverige og England førende i Europa, mens industrielle sværvægttere i USA (Tesla), Korea (Samsung, LG) og Japan (Panasonic) er verdensførende. Kinesisk batteriteknologi udvikler sig desuden hurtigt i disse år.
- **Brændselsceller**. Danske forskningsmiljøer har med DTU og AAU i spidsen i mere end 20 år arbejdet med at udvikle brændselsceller, der kan omdanne den kemiske energi i et brændsel (fx brint) direkte til elektricitet. Udviklingen er sket i tæt samarbejde med industrien (særligt Haldor Topsøe).
- **Elektrolyse (power-to-brint)**. DTU er i dag blandt de verdensførende forskningsinstitutioner inden for elektrolyse pga. miljøets mange års arbejde med brændselsceller. En elektrolysecelle bruger elektricitet til at spalte vandmolekyler til brint og ilt. Derved bliver den elektriske energi omdannet til kemisk bundet energi i brintmolekylerne, hvilket er den omvendte proces af, hvad der sker i en brændselscelle. Flere virksomheder i Danmark er desuden stærke inden for elektrolyse (bl.a. Haldor Topsøe, Air Liquide og Green Hydrogen og Hydrogen Valley). Elektrolyse i kombination med teknologier til optag af CO₂ vurderes desuden at have en lys fremtid i relation til fremstilling af "electrofuels" (se afsnit 7.11 om teknologier til optag og lagring/udnyttelse af CO₂).
- **Katalyse (power-to-kemikalier)**. DTU er ligeledes internationalt førende inden for forskning i katalyse og omdannelse af elektricitet til kemiske produkter, som kan lagres eller anvendes decentralt. Eksempelvis forventes der at være store energi- og klimamæssige potentialer i udvikling af power-to-ammoniak (grøn ammoniak), der anvendes til kunstgødning i landbruget, og som pt. er meget ressourcekrævende at producere og transportere. Omdannelse af elektricitet til metanol og ethanol er andre relevante konverteringsprocesser, som der forskes i, og som rummer store potentialer.

Særligt inden for elektrolyse, brændselsceller og katalyse er Danmark internationalt anerkendt for sin viden og erfaring – og ikke mindst tætte samarbejde mellem forskningsmiljøer og industrien. Disse styrkepositioner inden for elektrokemien udgør et fremragende fundament for udvikling af Power-to-X-teknologier.

De interviewede forskere og virksomheder peger på, at udnyttelse af Danmarks potentiale kræver en FUD-indsats på følgende områder, der i høj grad vil omfatte tværfaglige samarbejder mellem materialeteknologi, fysik, kemi, og ingeniørdiscipliner inden for fremstilling og skalering:

- **Batteriteknologi** til lokal lagring af overskudsenergi fra fx husholdningsceller. Eksempler på lovende batterityper, som fortsat skal udvikles, er metal-luft batterier og organiske flowbatterier.
- **Bedre og mere omkostningseffektiv elektrolyse (power-to-brint)**, herunder forskning i at gøre elektrolyseprocesser mere økonomisk rentable samt demonstration af skaleringspotentialer (vi i Danmark ikke har elektrolyseanlæg, som kan klare store mængder af spaltning).
- **Forskning i mulige power-to-X'er**, herunder strategisk forskning i elektrokemi, der kortlægger potentialer i – og udvikler teknologier inden for – power-to-ammoniak, -metanol, -ethanol, mv.

7.9 Det intelligente og integrerede energisystem (Smart Energy)

En række avancerede informations-, kommunikations-, sensor-, kontrol- og energiteknologier muliggør til sammen et intelligent energisystem, hvor data er bindeled mellem produktion og forbrug. Energiproduktion, -distribution og -forbrug kan i intelligente net gøres mere effektiv og fleksibel – og derved mere økonomisk rentabel og ikke mindst bæredygtig.

Et intelligent energisystem inden for elektricitet er længst fremme og referencen, når man taler om "Smart Grid". Men i lande med et moderne gas- og udbygget fjernvarmenet som Danmark er der også store potentialer i intelligent integration på tværs af energisektorerne (Smart Energy).

Et intelligent energisystem kan balancere forbrug efter produktion, hvilket især er hensigtsmæssigt i omstillingen til grøn energi, når produktion fra vedvarende energikilder (fx vind og sol) fluktuerer og derfor ikke leverer en stabil produktion. Et intelligent energisystem muliggør ligeledes en decentralisering af energiproduktionen, så forbrugere i fremtiden også kan blive producenter (prosumers). Det kan fx være salg af el fra solpaneler eller overskudsenergi fra privat lagring (fx i "powerwalls" eller elbilens batteri).

Der eksisterer endnu kun et begrænset kommercielt marked for intelligente og integrerede energisystemer, og udviklingen i Danmark har de seneste ti år været beskedent, da den kræver store infrastrukturelle omlægninger, regulering og investeringer. Der er imidlertid kommet et fornyet fokus på området i Danmark med Regeringens Energifaite af 29. juni 2018. De gennemførte interview blandt forskere, brancheorganisationer og virksomheder peger desuden på en række styrker og potentialer for at udvikle et mere intelligent og integreret energisystem i Danmark:

- Danmark har en unik infrastruktur i både el-, gas- og fjernvarmenettet, og vi er samtidig et af de mest digitaliserede samfund i verden, hvilket gør Danmark til et oplagt land at udvikle intelligente energisystemløsninger i stor skala og på tværs af energisektorer.
- Danmark har tradition for at tænke smarte systemer og grøn omstilling sammen. Flere andre lande, der er førende i intelligente energisystemer, har indtil i dag ikke tænkt vedvarende energi ind i udviklingen. Som eksempel kan Singapore nævnes, der er langt fremme, hvad angår smarte

enheder og energisystemer, men hvis totale energiforbrug består af under 1 pct. vedvarende energi⁴².

- Den danske erhvervsstruktur (relativt mange teknologitunge/digitale SMV'er) har gode forudsætninger for at udvikle produkter og løsninger til intelligente energisystemer. Et udbygget, intelligent og integreret energisystem kan åbne op for mange mindre, agile virksomheder, der kan tappe ind med "apps" til systemet.
- Danmark følger planen for udrulning af intelligente elmålere (smart meters) i alle husstande inden 2020⁴³. Timeafregning skal give forbrugerne incitament til at flytte forbrug til tidspunkter, hvor der er rigelig kapacitet i elnettet, og hvor strømmen derfor er billig. Derudover kan smart meters opsamle anonymiserede forbrugsdata, som detaljeret kan afdække forbrugsmønstre. Danmark har førende forskningsmiljøer (DTU) og virksomheder (fx IBM Danmark og en række mindre virksomheder), der arbejder med avancerede algoritmer og styresystemer, som automatisk kan balancere forbrug på baggrund af kendskab til forbrugsmønstre og energiproduktion.
- Danmark har et verdensførende forskningsmiljø inden for effektelektronik på AAU, hvor der både forskes i apparaters stabilitet – hvordan apparater bedst muligt designes til at være stabile i et "ustabil" elnet, og i elnettets stabilitet, herunder konsekvenser ved transition fra en stor synkron-generator (kraftværk) til mange, mindre producenter (consumers), der både tapper fra og ind i nettet.
- Danmark har verdensførende udviklingsfaciliteter (PowerLabDK på DTU) og demonstrationsfaciliteter (EcoGrid 2.0 på Bornholm og EnergyLab Nordhavn), hvor forskellige dimensioner af intelligente og integrerede løsninger afprøves. DTU er desuden ved at udbygge deres eksisterende testmiljø for distributionsnettet (DSO) på Risø med et fjernvarme- og gas-net samt et monitorerende IT-system med henblik på at teste potentialer i et integreret energisystem.

Som nævnt bygger et intelligent og integreret energisystem på en række avancerede teknologier. Mange af disse teknologier er hver for sig relativt modne. Udfordringen ligger således ikke i forskning, udvikling eller demonstration af en bestemt teknologi, men snarere i at udvikle systemer i stor skala. Forsimplet kan energisystemet i dag sammenlignes med et analogt telefonsystem. Et smart energisystem bygger på samme måde som en smartphone på en række forskellige teknologier og vil ligeledes kunne åbne et marked for "apps". Business casen ligger i høj grad i "apps" og i mindre grad i systemet. Investeringer i udvikling af systemet i stor skala, herunder viden om konsekvenser for elnettet ved transition fra store kraftværker til mange, mindre "prosumers", samt ikke mindst regulering og rammevilkår i Danmark er afgørende barrierer for at udvikle området.

Vores interview peger på, at udnyttelse af potentialet for at (for)blive førende i udvikling af intelligente og integrerede energisystemer kræver FUD-projekter på følgende områder:

- **Grundlæggende el-teknisk forskning i fleksible distributionsnet (DSO)** og viden om, hvordan fluktuerende energiproduktion og udbredelse af elbiler påvirker distributionsnettet.

⁴² Kilde: Verdensbanken: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS?locations=SG>

⁴³ EU har en målsætning om, at mindst 80 pct. af alle elmålere i EU er smart meters i 2020, i det omfang det er økonomisk rentabelt. Regeringen besluttede i forbindelse med Vækstplan DK fra februar 2013 at sikre udrulning af smart meters hos alle danske el-forbrugere inden 2020.

- **Udvikling og demonstration af smarte energisystemer.** Forsøgsprojekter inden for integration af flere vedvarende energikilder i el-nettet og varmeforsyningen. Herunder 1) udvikling af løsninger inden for intelligent styring og lagerdimensionering; 2) Sikring af stabilitet i systemer baseret på fluktuerende energiproduktion og mange små producenter frem for få store kraftværker.
- **Eftersyn og gentænkning af markedsmekanismer.** Forbrugsafgifter er ikke nødvendigvis løsningen i fremtiden, hvor et merforbrug af energi (til at drive smarte systemer) kan reducere fremfor at forøge CO₂-udledning. Der er behov for at inddrage kompetencer fra fx økonomi og antropologi for at forstå forbrugsmønstre og -adfærd som grundlag for at skabe de rette rammer om smart energy systemer.
- **Forskning i el-systemer med høj andel af effektelektronik.** Effektelektronik fylder meget og kommer til at fylde endnu mere i fremtidens energisystemer. Der er derfor behov for mere viden om, hvordan vi opbygger et energisystem med mange komponenter, der anvender effektelektronik⁴⁴. Det netop bevilligede X-Power-center på AAU er et skridt på vejen (se også afsnit 7.7 om energieffektivitet).

7.10 Fjernvarme

Danmark har gennem mange år – siden etableringen af det første fjernvarmenet på Frederiksberg i 1903 – opbygget en unik position inden for fjernvarme, som er et distributionssystem, der gennem et net af højisolerede rør i de store byområder bringer varme ud til omkring 64 pct. af alle danskerne og 1,7 mio. husstande. Den danske fjernvarme bliver produceret af over 400 fjernvarmeselskaber, som baserer deres varmeproduktion på forskellige energikilder. Det er pt. cirka 60 pct. af fjernvarmen, som er grøn. Målet er, at det skal være 100 pct. i 2035⁴⁵.

Gennem mange år har der eksisteret et tæt samarbejde mellem fjernvarmeselskaberne og forskellige typer af private virksomheder og videnmiljøer, hvilket har været med til at opbygge en stærk dansk position – både i forhold til viden og kompetencer samt produkter og udstyr inden for fjernvarme. Og forskningsmæssigt har Danmark en unik styrkeposition på området, jf. afsnit 5.

Siden 1980'erne har fjernvarmesektoren især været præget af omstilling til varmeproduktion baseret på biomasse. De gennemførte interviews tegner et billede af, at Danmarks eksisterende energiteknologiske kompetencer og styrkepositioner i relation til fjernvarme især knytter sig til følgende overordnede områder:

- **Omstilling og etablering af kraftvarmeværker og varmeproduktion baseret på biomasse.** Her er det eksempelvis særligt de rådgivende ingeniørhuse som Rambøll, NIRAS og Cowi, der tegner billedet, og forskningsmæssigt har Danmark bl.a. et stærkt miljø med fokus på biomasse til varmeproduktion på DTU Kemiteknik.
- **Drift og vedligehold af et effektivt distributionsnet.** Dette dækker både over stærke danske virksomheder inden for produktion, montering og vedligehold af fjernvarmerør (fx Logstor), ventiler, pumper (Grundfos), termostater (Danfoss) og intelligente målere (Kamstrup), hvor der bl.a. også stærke forskningsmiljøer i systemintegration på AAU.

⁴⁴ Se note 47 vedr. det nye X-Power-center for effektelektronik på AAU.

⁴⁵ Kilde: Dansk Fjernvarme: <https://www.danskfjernvarme.dk/viden-om/fjernvarmeinfo>

Overordnet set har fjernvarmeteknologien fremadrettet et stort potentiale i lyset af, at det er et energieffektivt system, der kan baseres på grønne og vedvarende energiløsninger, som kan være med til at reducere CO₂ udledningen. Og alene i Danmark er der også en målsætning om, at andelen af danskere, der har fjernvarme, fortsat skal stige op til 75 pct. Samtidig er fjernvarmeteknologien især velegnet i store byområder, hvilket flugter med den globale megatrend om øget urbanisering og det stigende fokus på Smart City løsninger.

Analysen tegner således et billede af, at der fremadrettet også er et internationalt potentiale for Danmark i forhold til eksport af viden og udstyr til at etablere og drive et effektivt fjernvarmesystem.

Men den stigende brug af vedvarende og fluktuerende energikilder fra sol og vind medfører også en række udfordringer og nye teknologiske krav til fjernvarmesektoren. Konkret betyder det ifølge de interviewede personer, at den danske fjernvarmesektor især har et teknologisk og kommercielt udviklingspotentiale inden for følgende områder:

- **Forskning og udvikling af nye typer af intelligente varmepumper** som effektivt, i stor skala og baseret på naturlige drivmidler, kan omsætte el fra vedvarende energikilder til både varme og kulde⁴⁶.
- **Forskning og udvikling inden for termisk lagring**, hvor energi bliver lagret i eksempelvis vand eller andre materialer. Dette vil kunne understøtte en fjernvarmeproduktion, som i stigende grad bliver baseret på energi fra vedvarende energikilder⁴⁷.

7.11 Teknologier til optag og lagring/udnyttelse af CO₂

På grund af målet om CO₂-neutralitet er det forventeligt, at der i de kommende år vil blive foretaget store FUD-investeringer i teknologier til optag og lagring af CO₂ i Europa – de såkaldte Carbon Capture and Storage (CCS)-teknologier.

GEUS har arbejdet med og forsket i CCS i mere end 25 år via en lang række EU- og norske projekter, som har undersøgt hele værdikæden fra fangst, over transport, til lagring af CO₂. Aalborg Universitet har derudover en lille forskergruppe, der beskæftiger sig med teknologier til optag af CO₂. Det danske forskningsmiljø er forholdsvis beskedent, men globalt findes der er en del større miljøer, der arbejder med at optimere CCS-teknologier, heriblandt i Tyskland, Norge og England. Teknologier til optag findes, men det forventes, at nye investeringer og forskning kan lede til industrialisering, effektivisering og billiggørelse. Transport og lagring af CO₂ anvender kendt teknologi fra olie- og gasindustrien, og kan umiddelbart implementeres forsvarligt. Især storskala anvendelse af bio-CCS (BECCS) forventes at være nødvendig, hvis målet om CO₂-neutralitet skal indfris.

Området kan vise sig interessant som et potentielt vækstområde i Danmark, da vi har fordelagtige geologiske forhold til at arbejde med CCS både onshore og offshore. Danske olieletter i Nordsøen ligger eksempelvis ideelt, og eksisterende borer og faciliteter kan formentlig i et vist omfang bruges til at pumpe CO₂ ned i reservoirerne. Nedpumpet CO₂ vil desuden have den fordel, at olie nemmere kan pumpes op. Erfaringer viser, at der kan udnyttes ca. 5-15 pct. mere af et olieletter, hvis CO₂ pumpes ned i olieletter,

⁴⁶ Det er pt. især den amerikanske virksomhed Johnson Control, som er dominerende inden for dette område. Virksomheden samler og producerer deres pumper i Danmark, men de har ikke deres forskning og udvikling her i landet.

⁴⁷ Ifølge de interviewede personer er det primært DTU og Teknologisk Institut, som arbejder systematisk med dette område i Danmark, og der er derfor et potentiale i forhold til at opprioritere FUD-indsatsen inden for termisk lagring i relation til fjernvarmesektoren.

selv efter at man har drevet olie ud med vandinjektion. I laboratoriet ses endnu større effektivitet⁴⁸. Der kan således tænkes en økonomisk favorabel overgangsfase fra olie- og gasproduktionen i Nordsøen.

Lagring af CO₂ kan endvidere tænkes som indtægtskilde for Danmark. Det kan ske ved at tilbyde opbevaring af CO₂ i den danske, geologisk velegnede undergrund for andre lande, fx Tyskland og Sverige, der har meget industri og en mindre velegnet undergrund til CO₂-lagring.

Endelig er der potentiale i at arbejde med CCU (Carbon Capture Utilization) frem for CCS, hvor der kan bygges en business case på at udnytte det indfangede CO₂ frem for at lagre det. Aalborg Universitet har et forskningsprogram med fokus på udvikling og perspektiver for udbredelse af electrofuels, der kombinerer opsamlet CO₂ og brint (produceret via elektrolyse) i en kemisk reaktion, som danner en klar, flydende væske (electrofuels), der kan fyldes i tanken på biler, skibe og fly⁴⁹.

Udvikling af teknologier til optag og lagring/udnyttelse af CO₂ har hidtil ikke været prioriteret som område i dansk energi- og miljøpolitik. Forskningsprojekter på området har derfor udelukkende været finansieret med udenlandske midler – hovedsagligt EU og et mangeårigt samarbejde mellem GEUS og de norske myndigheder. Såfremt Danmark skal udnytte sine fordelagtige geologiske forhold og udvikle teknologier til optag og lagring/udnyttelse af CO₂, kræver det ifølge interviewpersonerne en ambitiøs FUD-indsats på følgende områder:

- **Kortlægning af optimale områder for at lagre CO₂ i den danske undergrund.** GEUS har for de norske myndigheder udført et omfattende kortlægningsarbejde i de sydlige norske havområder, som sammen med Skagerrak og Kattegat rummer gode lagringslokaliteter. Et tilsvarende kortlægningsarbejde skal udføres i andre dele af Danmark.
- **Forskning og demonstration af mulighederne for at øge olieindvindingen i Nordsøen ved at pumpe CO₂ ned i reservoirerne.** Forskningen i dag foregår i avancerede laboratoriefaciliteter, hvor geologerne genskaber de fysiske forhold i Nordsøens reservoirer. Der er behov for at afprøve mulighederne i virkeligheden.
- **Forskning i perspektiverne for at udnytte opsamlet CO₂ til brændstof.** Udnyttelse af opsamlet CO₂ til brændstof udgør en bedre business case end lagring af CO₂ i undergrunden. Teknologier til at udnytte opsamlet CO₂ (fx i kombination med elektrolyse for at danne electrofuels) i stor skala er dog på et meget tidligt stadium og kræver fortsat grundlæggende forskning, udvikling og demonstration i stor skala.

⁴⁸ Dan Olsen (2011); CO₂ EOR Production Properties of Chalk; SPE EUROPEC/EAGE Annual Conference and Exhibition, 23-26 May, Vienna, Austria

⁴⁹ Brian Vad Mathiesen & Iva Ridjan Skov fra AAU har i efteråret 2018 udgivet "Handlingsplan for implementering af elektrolyse i det danske energisystem", der blandt andet behandler udvikling og perspektiver for udbredelse af electrofuels i den danske transport- og energisektor.

Bilag 1. Interviewpersoner

Tabel 1. Myndigheder og organisationer (tværgående og branchespecifikke)

Organisation	Personer
Brintbranchen	Tejs Laustsen Jensen, direktør
Dansk Energi	Anders Stouge, vicedirektør
Dansk Fjernvarme	Kim Behnke, vicedirektør
DI Energi	Troels Ranis, branchedirektør
Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet	Anders Hoffmann, vicedirektør
EUDP	Hanne Thomassen, Programme Manager
Innovationsfonden	Tore Duvøl, vicedirektør
Intelligent Energi	Helle Juhler-Verdoner, branchechef
Styrelsen for Forskning og Uddannelse	Tina Gaard Sander, seniorkonsulent
Vindmølleindustrien	Jan Serup Hylleberg, adm. direktør
Aalborg Universitet	Charlotte Pedersen Jacobsen, forskningsstøttechef

Tabel 2. Virksomheder

Virksomhed	Personer
A.P. Møller Holding A/S	Samir Abboud, CEO – Geothermal A.P. Møller Holding A/S
Danfoss	Niels Gade, Director of Technology and Innovation og Jakob Fredsted, VP for R&D i Danfoss Drives
Danish Power System	Hans Aage Hjuler, CEO
European Energy	Jan Vedde, Senior Project Engineer
Grundfos	Thorkild Kvisgaard, Global Technology Director
Haldor Topsøe A/S	Poul Georg Moses, Director, Explorative R&D
HP Now	Rasmus Frydendal, CTO
Hydrogen Valley	Søren Bjerregaard Pedersen, direktør
IBM DK	Nils Overgaard, Head of Energy & Utility Industry (Nordics)
Kenergy	Kenn Frederiksen, direktør
Neogrid Technologies	Henrik Lund Stærmosé, direktør
ReMoni	Bo Eskerod Madsen, CEO
SaltPower	Henrik Tækker Madsen, adm. direktør
Steeper Energy	Steen Iversen, CTO
Stiesdal A/S	Henrik Stiesdal, direktør
Vestas (MHI Vestas)	Kasper Roed Jensen, Vice President, Ideation and Partnering
Wavepiston	Michael Henriksen, CEO
Ørsted, Energy Storage Solutions & Thermal Power	Michael Paludan-Müller Nylykke, Lead Business Developer

Table 3. Researchers

Organisation	Personer
DTU Byg	Simon Furbo, professor
DTU Compute	Henrik Madsen, professor
DTU Elektro	Henrik W. Bindner, Senior Researcher
DTU Elektro	Jacob Østergaard, professor
DTU Energi	Søren Linderoth, professor
DTU Fotonik	Peter Behrendorff Poulsen, professor
DTU Fysik	Ib Chorkendorff, professor
DTU Vindenergi	Peter Hauge Madsen, Institutdirektør
GEUS	Mads Engberg Willumsen, statsgeolog og Lars Henrik Nielsen, statsgeolog
KU, Forest, Nature and Biomass	Claus Felby, professor
SDU	Horst- Günter Rubahn, Institutdirektør
SDU (mekatronik)	Morten Hartvig Hansen, professor
SDU- Center for Energy informatics	Mikkel Baun Kjærgaard, professor
AAU (Forskningsgruppen for Bølgeenergi)	Jens Peter Kofoed, lektor
AAU (Institut for Energiteknik)	Lasse Rosendahl, professor
AAU (Institut for Energiteknik)	Søren Knudsen Kær, professor
AAU (VE)	Frede Blaabjerg, professor

IRIS GROUP

JORCKS PASSAGE 1B, 4. SAL | DK-1162 KØBENHAVN K
IRISGROUP@IRISGROUP.DK | WWW.IRISGROUP.DK