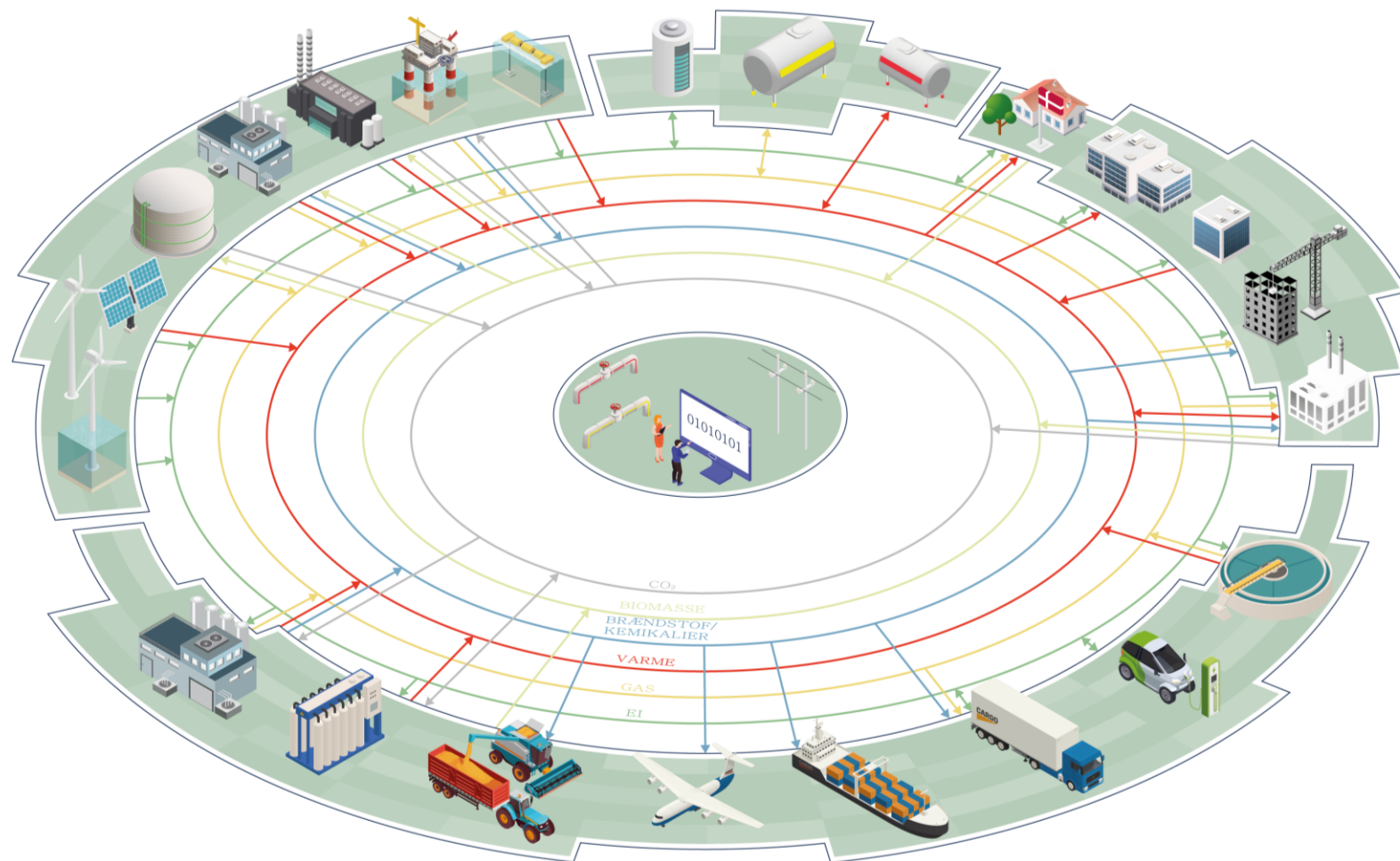


FRA SILOER TIL SEKTORKOBLING

Analyse af værdikæder i
fremtidens sammenhængende
energisystem

Udarbejdet for Energy Cluster Denmark, juli 2022

IRISgroup



Indhold

Danmarks samlede energiklynge	3
Energiklyngens udvikling 2010-2020	4
Fremtidens sammenhængende energisystem	5
Energiproduktion	6
Energilagring	8
Energiinfrastruktur	10
Energieffektivitet	12
Sektorkobling med fokus på CCUS og PtX	14
Bilag I: Værdikædeoversigter	17
Bilag II: Metodebeskrivelse	24

IRIS GROUP

CHRISTIANS BRYGGE 28, 1. SAL

DK-1559 KØBENHAVN V

IRISGROUP@IRISGROUP.DK

WWW.IRISGROUP.DK

Danmarks samlede energiklynge

I 2020 fik Danmark en samlet klyngeorganisation for hele energisektoren, Energy Cluster Denmark.

Energisektoren har historisk været opdelt i siloer med selvstændige værdikæder for el, varme, gas, transport mv. Værdikæderne er traditionelt gået i en lige linje fra energi-produktion til energiforbrug.

Den grønne omstilling af vores samfund og den hastige udvikling inden for energiteknologi åbner imidlertid for nye værdikæder og stiller krav om ny forståelse i hele sektoren af de systemer og sammenhænge, som aktørerne indgår i.

Sektorkobling er en afgørende brik i at nå de nationale klimamål i 2030 og 2050.

Succesfuld samtænkning og udnyttelse af synergi i den danske energiklynge kan samtidig sikre Danmarks lederskab i den grønne omstilling, hæve ambitionerne for klimaet og inspirere resten af verden til klimahandling.

Omstillingen af energisektoren fra siloer til sektorkobling kræver kontinuerligt fokus på udvikling, optimering og skalering af teknologier til at producere, lagre og transportere energi så effektivt som muligt samtidig med, at teknologierne bindes sammen digitalt og energisektoren kobles tættere til andre sektorer, fx landbrug og transport.

Energy Cluster Denmark arbejder med fem fokusområder for energiklyngens udvikling, som er vist i figuren til højre.

I denne analyse præsenteres og visualiseres de væsentligste værdikæder for fremtidens energiklynge. Sektorkobling, systemintegration og digitalisering binder de øvrige områder sammen og er således kernefortællingen i denne analyse. Men energi-produktion, energilagring, energiinfrastruktur og energieffektivitet ser også hver især nye og tværgående værdikæder, som er vigtige at fremhæve.

Endelig præsenterer analysen også værdikæder for to lovende og nationalt prioriterede områder – nemlig Power to X (PtX) og Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS).

Formålet med at samle visionerne og illustrere værdikæderne i fremtidens energisektor er at bidrage til at nedbryde siloer og for alvor sætte strøm til sektorkoblingen i Danmark.

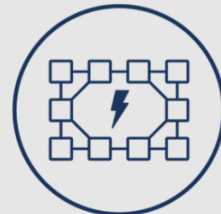
Energy Cluster Danmarks fokusområder



Energiproduktion omfatter udvinding, udvikling og generering af energi i form af strøm, varme, gas og flydende brændsler. Vigtige aktører er universiteter, OEM'er (Original Equipment Manufacturer) og en række underleverandører af komponenter, produkter, services og systemløsninger.



Energilagring omfatter lagrings- og konverteringsteknologier for alle energiformer. Vigtige aktører er universiteter, energiselskaber og teknologi- og serviceleverandører.



Energiinfrastruktur omfatter transport af energi i kabler og rør. Vigtige aktører er el-, varme- og gasforsyningselskaber samt handelsselskaber. Hertil kommer universiteterne og en række underleverandører af komponenter, produkter, services og systemløsninger.



Energieffektivitet omfatter teknologier og metoder til effektivt energiforbrug. Vigtige aktører er universiteter, infrastrukturoperatører og virksomheder der udvikler og producerer komponenter, produkter, services og systemløsninger til energiforbrugende apparater og systemer.



Sektorkobling, systemintegration og digitalisering er de horisontale værdikæder i energisystemet, som går på tværs af traditionelle siloer.

Energiklyngens udvikling 2010-2020

Den danske energiklynges erhvervsaktivitet blev for første gang opgjort i 2019 på baggrund af en omfattende kortlægning af energiklyngens virksomheder. Figuren til højre tager udgangspunkt i samme datagrundlag, men er udvidet til at omfatte alle virksomheder, som på den ene eller anden måde indgår i værdikæder inden for energiklyngen (se bilag II for uddybende metodebeskrivelse).

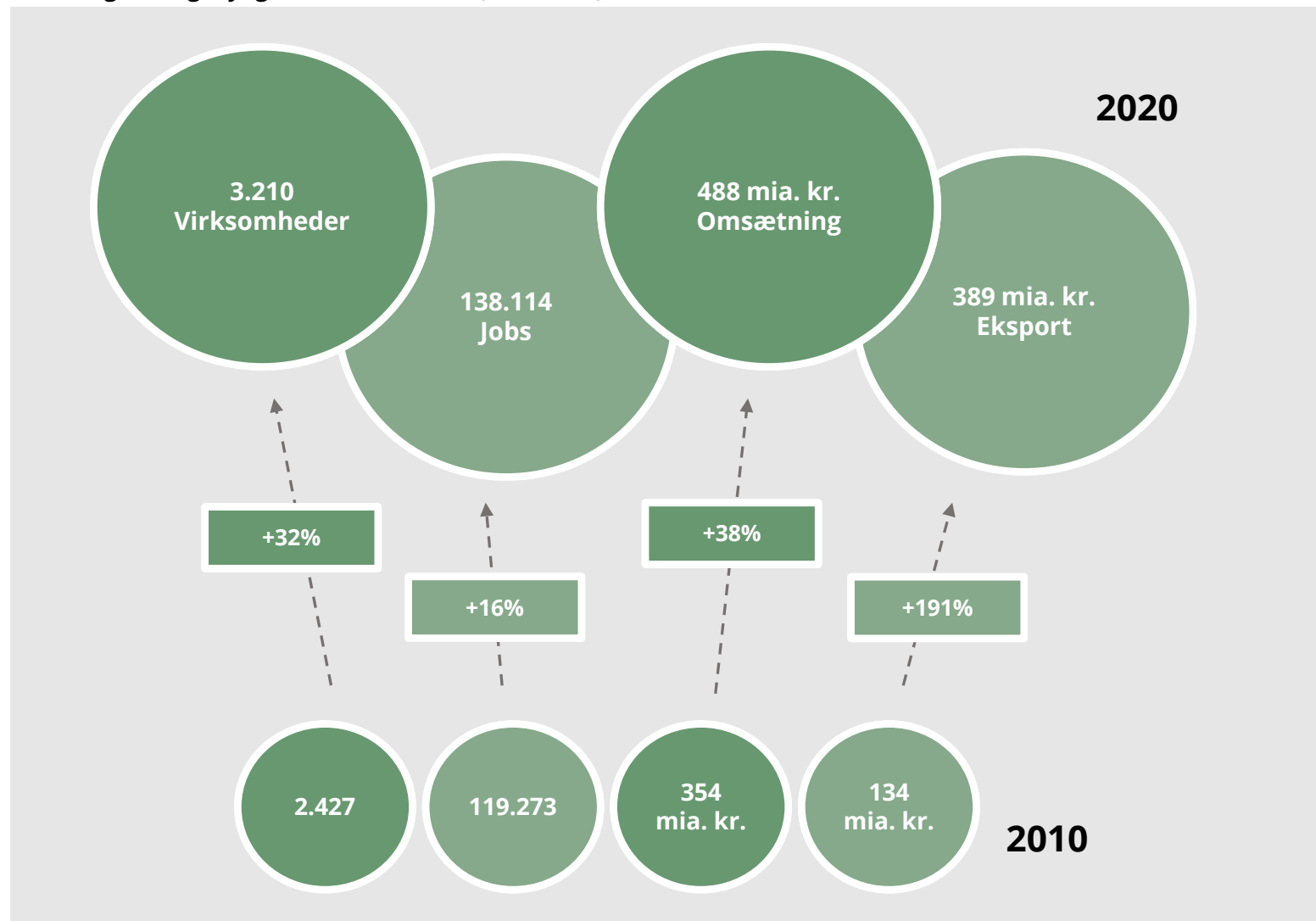
Der findes ca. 3.200 aktive virksomheder i den danske energiklynge, som tilsammen beskæftiger mere end 138.000 personer. Omsætningen i klyngens virksomheder nåede i 2020 op på 488 mia. kr., hvoraf størstedelen, 389 mia. kr., kom fra eksport.

For alle fire nøgletal gælder det, at virksomhedernes aktivitet er vokset fra 2010-2020. Antallet af virksomheder i energiklyngen er vokset med 32 pct., mens der er kommet 16 pct. flere jobs. Det faktum at antal virksomheder er vokset mere end antal jobs dækker over, at der er kommet markant flere små og mikro-virksomheder (startups) i perioden.

Omsætningen er steget med 38 pct., mens eksporten er steget med 191 pct. fra 2010-2020. Den høje omsætning og eksport er primært forankret i vindsektoren og olie/gasindustrien. Dertil kommer, at dele af transportsektoren er regnet med i klyngen, da logistik spiller ind i mange vigtige led i klyngens værdikæder.

Det skal bemærkes, at opgørelsesmetoden medregner al aktivitet i de virksomheder, som er henregnet til energiklyngens værdikæder. Det medfører en vis overestimering, da mange af virksomhederne givetvis også har aktivitet inden for andre dele af erhvervslivet.

Udvikling i energiklyngens virksomheder (2010-2020)



Kilde: Danmarks Statistik (særkørsel)

Note: Bemærk at figuren omfatter al aktivitet i virksomheder, som på den ene eller anden måde indgår i værdikæder inden for energiklyngen. Vi tegner således et billede af en stor gruppe virksomheder, som ikke udelukkende har aktivitet i energisektoren. Se bilag II for uddybning.

Fremtidens sammenhængende energisystem

5

Figuren til højre præsenterer fremtidens sammenhængende energisystem.

Modsat energisektorens traditionelle værdikæder, der går fra energiproduktion til forbrug, illustrerer figuren vigtigheden i tværgående og sammenhængende værdikæder.

Den øgede mængde vedvarende energi betyder, at vi ikke kan skrue op og ned for produktionen afhængig af forbruget, da vinden ikke altid blæser eller solen skinner. Vi er nødt til også at balancere forbruget.

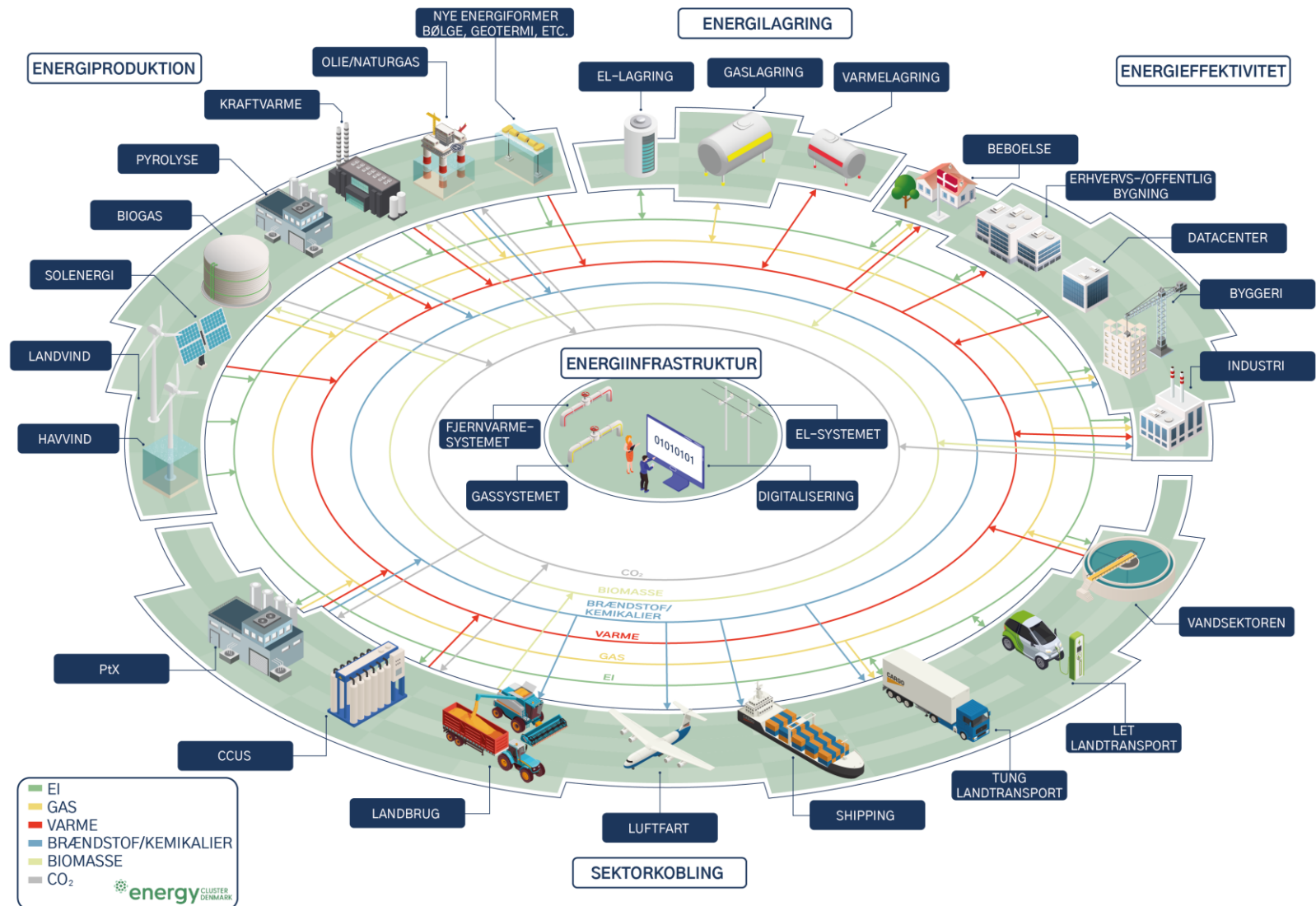
Det kræver lagring af energi og digitale løsninger, som kan sende den tilgængelige energi derhen, hvor den udnyttes mest optimalt på ethvert givent tidspunkt.

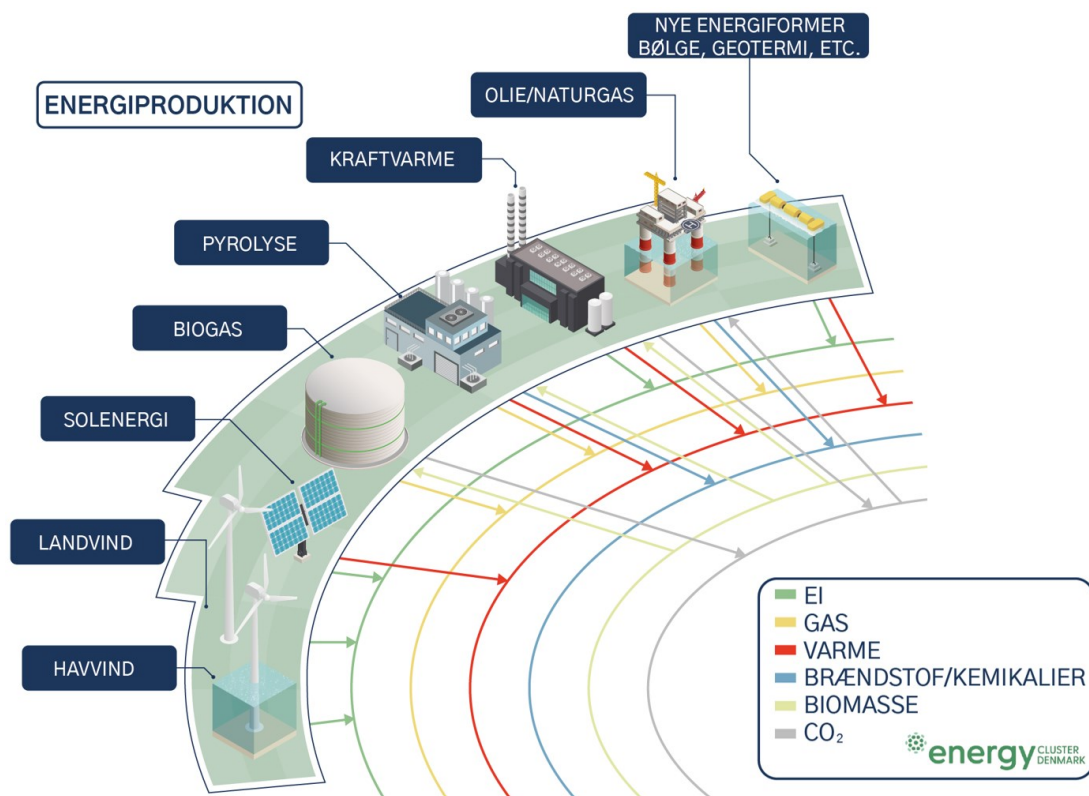
Figuren indeholder Energy Cluster Denmarks fem fokusområder, som tilsammen udgør det sammenhængende energisystem.

De seks farvede ringe illustrerer forskellige former for energi og andre værdifulde produkter, mens pilene viser deres forbundethed til systemet via en udbygget og digital energiinfrastruktur.

Flere pile har to retninger. Det indikerer, at energien/produkterne kan flyde begge veje og derved bidrage til balance i systemet. Det gælder fx industrien, som både forbruger varme og producerer overskudsvarme, eller elbilen, hvis batteri både kan lades og tages for strøm.

På de følgende sider dykker vi dybere ned i, hvilke nye værdikæder der tegner sig inden for Energy Cluster Denmarks fem fokusområder.





Energiproduktionen i Danmark kommer fra en række forskellige kilder, som leverer forskellige energiformer (el, gas, varme mv.) til energisystemet. Til venstre ses det udsnit af energisystemet, som primært producerer energi.

I 2021 kom halvdelen af Danmarks samlede energiproduktion fra vedvarende energikilder som fx vind, sol og biomasse. Den anden halvdel kom hovedsageligt fra fossile brændsler som olie og naturgas.*

Det er regeringens ambition, at Danmark i 2050 er helt uafhængig af fossile brændsler. Det betyder, at Danmark i 2050 skal kunne producere nok vedvarende energi til at dække det samlede danske energiforbrug.

Ifølge de interviewede energieksperter vil skalering af især vind- og solenergi få en helt central betydning i omstillingen. Men andre teknologier som pyrolyse, geotermi og bølgeenergi forventes også at komme til at spille en vigtig rolle i fremtidens energiproduktion. Biomasse forventes at blive udfaset i kraftvarmeværkerne, men vil fortsat have en plads i energisystemet ifm. biogasproduktion og pyrolyse.

Udviklingen de seneste mange år har været drevet af omkostningsreduktioner – den såkaldte Levelized Cost of Energy (LCoE). Omkostninger jagtes i alle energiproduktionens værdikæder. Men jagten har traditionelt været vertikal - fx inden for vindbranchen hvor alle underleverandører optimeres.

I fremtiden kommer vi i langt højere grad til at se gevinster i horisontale værdikæder. Det kan fx være hybridsystemer, hvor energiproduktion tænkes direkte sammen med energilagring eller – konvertering. Det kan også være nye værdikæder, der går på tværs af sektorer. Her vil restprodukter fra landbruget fx kunne udnyttes i pyrolyseprocesser eller udtjente naturgasfelter kan udnyttes til at lagre CO₂ fra industrien.

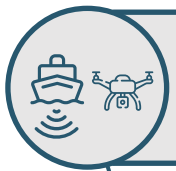
I figuren til venstre illustrerer pilene, hvordan de forskellige energiproduktionsteknologier hænger sammen med de forskellige former for energi. Pilene viser både produktionen (fx el fra havvind) og nye værdikæder som fx lagring af CO₂ i undergrunden ved brug af offshore produktionsplatforme.

Overordnet kan værdikæden for energiproduktion (på tværs af produktionsteknologier) inddeles i seks led. På næste side har vi beskrevet de nybrud, som interviewpersonerne forventer vil præge de enkelte led af værdikæden i fremtiden. En oversigt over værdikædens led med eksempler på aktører, innovation/nye teknologier og igangsatte udviklingsprojekter findes desuden i bilag I.

* Energistyrelsen 2022: "Hovedtal fra Energistyrelsens foreløbige energistatistik for 2021"

Energiproduktion – forventninger til nybrud i værdikæden

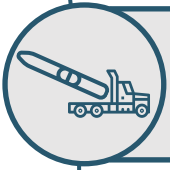
7



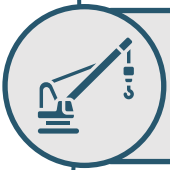
Projektering er det første led i energiproduktionens værdikæde. Omfanget af projekteringsfasen varierer betydeligt afhængigt af, om der skal installeres en stor havvindmøllepark eller bygges en mindre solcellefarm på land. Projektering omfatter en række forundersøgelser og miljøvurderinger (VVM). Mhp. at reducere omkostningerne i denne fase, forventer de interviewede energieksperter, at nye aktører specialiseret i avanceret modellering og autonom højteknologi (fx droner) får stor betydning i projekteringsfasen. Derudover forventes flere produktionsformer at blive projekteret samlet i hybridsystemer i fremtiden, fx vind- og solenergi sammen med lagringsteknologier.



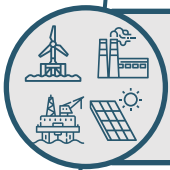
Design og fremstilling omfatter udvikling og produktion af vindmøller, solceller, kraftvarmeværker mv. Særligt to tendenser kommer ifølge interviewpersonerne til at præge dette led i fremtiden; opskalering af vindmøller og grøn omstilling af produktionen. Fremstillingsfasen kræver meget energi og har i dag et stort CO₂-aftryk. Sektoren forventer i langt højere grad at benytte fx brint i fremstillingsprocessen og er samtidig på udkig efter alternative materialer, herunder genbrugs- eller biomaterialer (fx trætårne til vindmøller frem for stål). Blockchain-teknologi forventes desuden at komme til at spille en stor rolle ift. digital sporing af materialer og som informationsbærer gennem alle led i værdikæden.



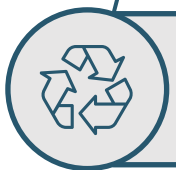
Logistik handler om transport og opbevaring af de fremstillede elementer som fx en vind- eller solfarm består af. I takt med at vindmøller bliver større, bliver transport af dem udfordret. Branchen arbejder kontinuerligt på at udvikle standardløsninger og modulære design, som letter logistiske udfordringer. Men interviewpersonerne forventer også at se nye former for effektiv transport af store emner i fremtiden.



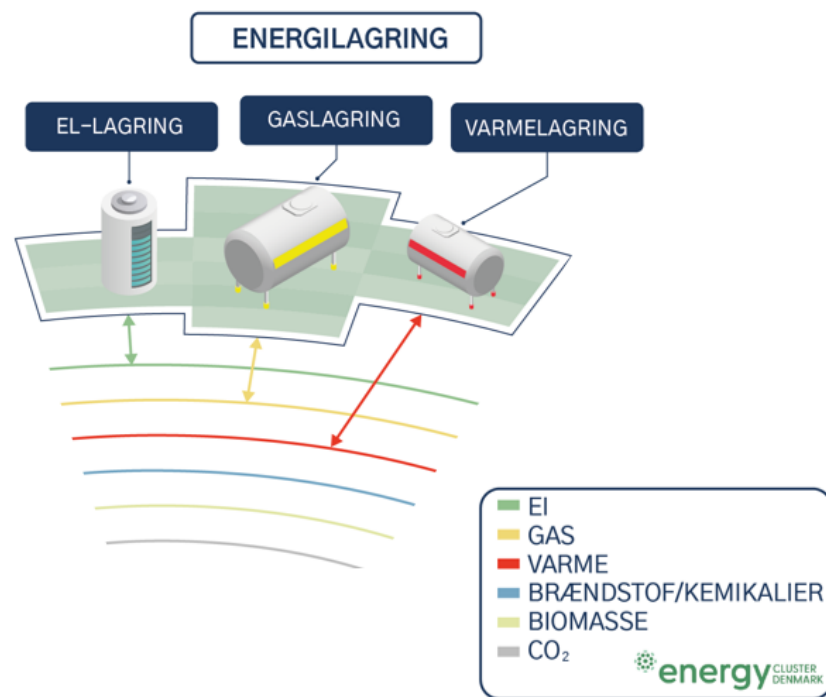
Installation er det led i værdikæden, hvor fx vindmøllen, biogas- eller pyrolyseanlægget sættes op og kobles på energinfrastrukturen. Her er der stor forskel på, om installationen foregår på land eller til havs. Offshore installation kræver avanceret udstyr og specialistkompetencer. I fremtiden vil vi se en højere grad af automation og robotteknologi i installationsfasen. Fremtidens flydende vindmøller, som skal installeres på store havdybder, vil også kræve udvikling af flydende installationsplatforme, som samtidig kan fungere som logistisk knudepunkt for opbevaring, omlastning mv.



Drift og vedligehold er fasen, som dækker hele anlæggets operationelle levetid. Mere intelligent vedligehold og færre manuelle servicetimer kan bl.a. reducere driftsomkostningerne. Interviewpersonerne forventer, at forretningsområdet omkring drift og vedligehold kommer til at vokse markant for vind og sol, da det kræver en anden og mere effektiv drift end fx kraftvarmeværker, som har fast servicepersonel. Området er allerede meget digitaliseret, og der er plads til mange flere spillere, som ikke traditionelt har beskæftiget sig med energisektoren.



Dekommissionering er traditionelt det sidste led i energiproduktionens værdikæde. Det omfatter alle aktiviteter ifm. afvikling af udtjente anlæg. De store vindmølleproducenter (OEM'er) arbejder i dag ud fra en cirkulær vision, hvor alle elementer skal kunne genbruges i fremtiden. Det åbner for nye værdikæder tilbage til design og fremstilling af nye møller eller til andre sektorer, som kan bruge de nedtagne materialer. Fx kan glasfibrene fra møllevinge genanvendes i cement- eller glasuldsproduktion, og stål fra tårnene kan omsmeltes og genbruges.



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. Omkostningseffektive energilagring-metoder er således afgørende for at få fuldt udbytte af vedvarende energikilder.

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. 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.

Figuren til venstre viser det udsnit af energisystemet, som vedrører lagring af energi. Pilene, der peger i begge retninger, illustrerer at lagring af forskellige former for energi skal kunne flyde frem og tilbage mellem energiproduktion, -lagring og -forbrug. Effektiv energilagring er derved en afgørende nøgle til fleksibilitet i energisystemet.

Man kan skelne mellem korttidslagring (sekunder/timer), mellemlangtidslagring (timer/uger) og langtidslagring (uger/måneder) af energi.

I fremtiden vil der i høj grad være behov for alle tre tidshorisonter af energilagring. Korttidslagring vil typisk være lagring af el, som på den korte bane kan balancere energisystemet. El kan også lagres i mellemlangtid, fx i termiske varmelagre eller som kemisk energilagring.

De interviewede energiexperts peger på, at der især er store potentialer i varmelagring. Ved intelligent regulering af temperaturen, kan bygninger lagre varme fra nat til dag, mens lagring i fjernvarmesystemet samt i jorden kan lagre store mængder energi i længere tid. Fjernvarmesystemet i Danmark rummer omkring 1 milliard liter varmt vand og udgør derved et enormt varmelager.

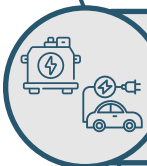
Langtidslagring af vedvarende energi vil i mange tilfælde betyde, at energien konverteres til en anden form, som nemmere kan lagres. Fra fossile brændsler er vi vant til at håndtere og lagre gas og flydende brændstoffer. Der er således et stort potentiale i at konvertere el om til brint eller e-fuels (PtX), som både har langtidslagringspotentiale og kan løse udfordringerne med at omstille sektorer, som ikke lader sig elektrificere. Interviewpersonerne forventer, at vi i fremtiden kommer til at se opskalering og effektivisering af PtX for at kunne langtidslagre de stigende mængder vedvarende energi i vores energisystem. På næste side har vi beskrevet de nybrud, som interviewpersonerne forventer vil præge de enkelte led af værdikæden for energilagring i fremtiden.

Energilagring – forventninger til nybrud i værdikæden

9



Energiinput omfatter både Danmarks egen energiproduktion og vores import af energi i form af olie, naturgas, kul og el. De fossile energikilder vil udfases i både egenproduktionen og importen frem mod 2050. De interviewede energieksperter peger på, at de største nybrud i denne ende af værdikæden bliver tættere kobling af energiproduktions- og lagringsteknologier.



Korttidslagring af energi omfatter hovedsageligt lagring af el fra enkelte sekunder til timer. I takt med at solenergi bliver udbygget i Danmark, vil vi få et stigende behov for at kunne lagre energi fra dagtimerne til aften timerne. Batterier og superkondensatorer (Super Caps) udvikles hastigt i disse år bl.a. pga. den stigende efterspørgsel på elbiler. Super Caps har – sammenlignet med konventionelle, kemiske batterier – en meget høj energitæthed og derved høj ladnings- og afladningshastig. Det giver mulighed for kortvarige balanceringer af nettet. Fx har de mange batterier i parkerede elbiler potentiale til at bidrage til lagring af energi på kort sigt.



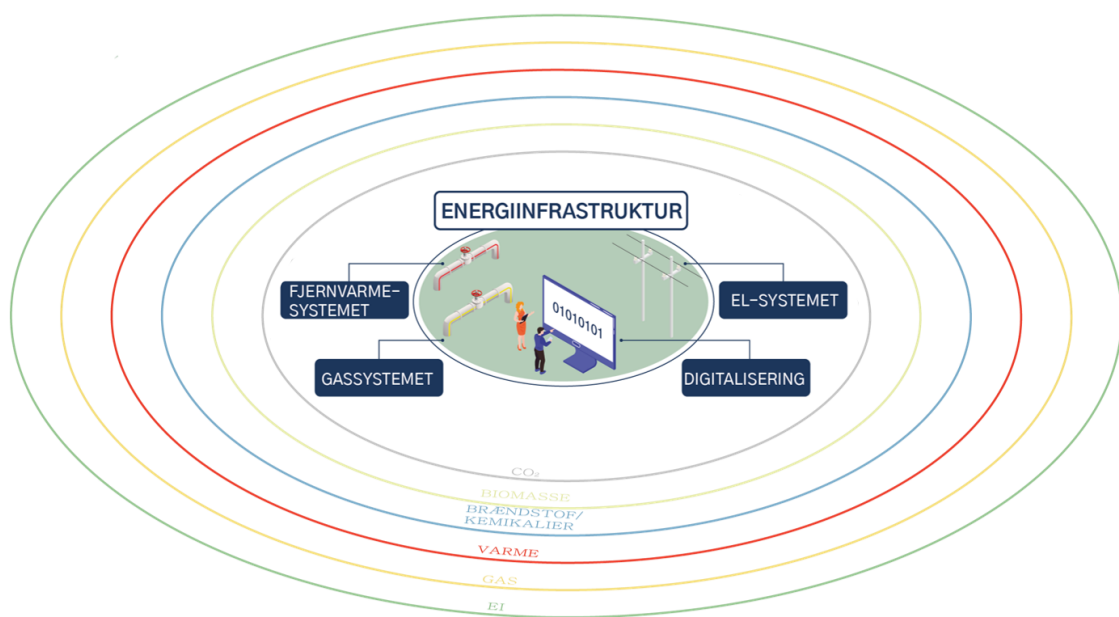
Mellemlangtidslagring af energi vedrører både el og varme, som lagres i nogle timer eller uger, før det bruges. El kan lagres kemisk i større batterier eller som varme, der kan udnyttes i fjernvarmesystemet eller konverteres tilbage til el ved hjælp af en turbine. Varmen kan fx lagres i sten, vand, salte eller andre faseskiftende materialer. Interviewpersonerne peger også på, at varme kan lagres i bygningsmassen ved intelligent regulering af bygningers temperatur. Fx kan store offentlige bygninger, kontorer mv. opvarmes om natten, mens der er overskud af energi i systemet, og langsomt køles af i løbet af dagen.



Langtidslagring af energi (i uger eller måneder) kræver, at energien er i flydende eller gasform. Det er dog også muligt at lagre varme over længere perioder i damvarmelagre. Men el fra vedvarende energikilder skal konverteres. Interviewpersonerne forventer opskalering og effektivisering af brint og e-fuels-produktion, hvor elektricitet omdannes til gas (brint) eller flydende, syntetiske brændstoffer (PtX). I PtX-processer kan ca. halvdelen af den tilførte elektriske energi i dag omdannes til brint eller e-fuels. Den anden halvdel bliver til varme. Nye værdikæder, der involverer kobling af industriel overskudsvarme, lagringsfaciliteter og fjernvarmesystemet har derfor store potentialer.



Energiforbrug hænger sammen med energilagring, da øget fleksibilitet i forbruget vil reducere behovet for at lagre energi. De interviewede energieksperter forventer at se en række nye aktører og værdikæder inden for adfærdsincitamenter og smart home-teknologi, herunder demand respons og systemydelse i industrien.



Energiinfrastrukturen i Danmark er veludbygget og generelt i rigtig god stand. Det udgør et godt udgangspunkt for sektorkobling. El-systemet, gassystemet og fjernvarmesystemet er i dag koblet simpelt sammen (i kraftvarmeværkerne er el og varme koblet, og gas kan bruges til at producere el og varme). I fremtiden bliver koblingerne mere avancerede og vil i høj grad være understøttet af digitalisering.

Figuren til venstre viser det udsnit af energisystemet, som omfatter energiinfrastruktur. De seks farvede cirkler illustrerer foruden el, gas og varme også flydende brændstoffer, biomasse og CO₂. De interviewede energieksperter ser i høj grad, at det er i energiinfrastrukturen og i koblingen af flere energiformer, at vi vil se mange nye værdikæder i fremtiden.

Særligt brint forventes at komme til at spille en stor rolle. Gassystemet vil muligvis blive udvidet med en dedikeret brintinfrastruktur, da rør med brint kan transportere langt mere energi langt billigere end kabler med el.

I forbindelse med at Danmark etablerer to energioer hhv. på Bornholm og i Nordsøen er det helt centralt at undersøge, om energien fra de mange vindmøller omkring energioerne skal sendes i land som el, eller om der også skal være brintproduktion eller laves syntetiske brændsler på energioerne, som kan sendes i land gennem rørføring.

Rørføring af komprimeret CO₂ kan også rumme et potentiale. Det gælder særligt, hvis infrastrukturejere kan udnytte gasledningssystemet i Nordsøen til at transportere CO₂ til offshore lagring.

Energiinfrastrukturen i Danmark er i høj grad bundet sammen med vores nabolande gennem import og eksport af energi. Vi har i dag transmission af el og gas til og fra udlandet. Fremtidens energiinfrastruktur kan muligvis også indeholde brintrør til industrien i Nordtyskland.

Endelig peger nogle af interviewpersonerne på, at vi vil se flere og flere decentrale energisystemer. Det gælder særligt el og varme. Distributionsnettet betales og vedligeholdes gennem tariffer, som delvist fastsættes efter forbrug. Det kan give incitament til at skabe isolerede kredsløb og reducere forbrug af ekstern energi.

Flere decentrale energisystemer kan gøre den grønne omstilling hurtigere, da små produktionsanlæg er billigere og hurtigere at få i drift. Samtidig bliver den samlede energiforsyning mere resiliens.

På næste side har vi beskrevet de nybrud, som interviewpersonerne forventer vil præge de forskellige dele af energiinfrastrukturen i fremtiden.

Energiinfrastruktur – forventninger til nybrud i værdikæden



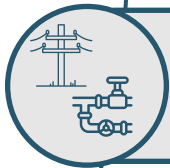
Energiinput omfatter både Danmarks egen energiproduktion og vores import af energi i form af olie, naturgas, kul og el. De fossile energikilder vil udfases i både egenproduktionen og importen frem mod 2050. De interviewede energieksperter peger på, at de største nybrud i denne ende af værdikæden vil vedrøre integration af stigende mængder vedvarende energikilder i energiinfrastrukturen.



Eksport af energi har stor betydning for dansk økonomi. Danmark er ikke længere nettoeksportør af olie, men forventer fortsat at producere mere naturgas, end vi forbruger frem mod 2035. Den kraftige udbygning af vindenergi og etableringen af to energioer forventes at bidrage til markant øget eksport af el til elektrificeringen af Nordeuropa. Derudover er industriel brintproduktion i Danmark et politisk prioriteret område, som kan få markant indflydelse på energiinfrastrukturen særligt mellem Danmark og Tyskland, hvor brint kan føres i rør til industrien i Nordtyskland.



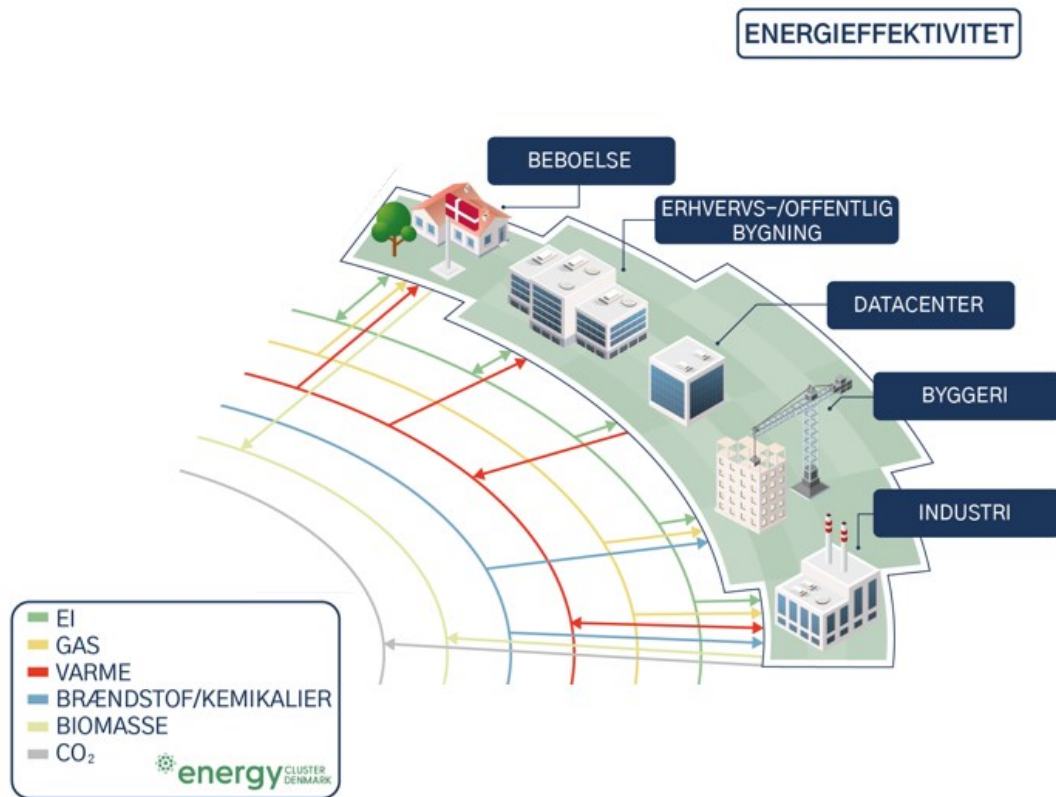
Transmission dækker over transport af energi på tværs af landsdele og lande. Øget elektrificering indebærer omfattende udbygning af el-transmissionsnettet, hvis der ikke indbygges mere fleksibilitet i energisystemet. Interviewpersonerne forventer både at se udbygning af el-transmissionsnettet og innovative fleksibilitetsydelse. Samtidig peger flere på, at en dedikeret brintinfrastruktur og evt. også rørføring af CO₂ kan blive en del af fremtidens energiinfrastruktur. Det er også muligt, at vi i højere grad kommer til at se decentrale energiområder, fx på by- eller kommuneniveau, som er uafhængige af import/eksport og derved reducerer behovet for transmission af energi over længere afstande.



Distribution er fordeling af energi til forbrugerne. Fremtidens distributionsnet vil styres af en række avancerede digitale informations-, kommunikations-, sensor- og kontrolteknologier, som muliggør, at signaler om produktion og forbrug af energi kan sendes, modtages og behandles tilpas hurtigt til at balancere systemet. Sammen med forventningen om mere decentral energiproduktion vil det åbne for nye markedsmekanismer og ændre markedet for energiselskabernes køb og salg af energi. Vi vil samtidig se en udbygning af fjernvarmenettet med både (ultra)lavtemperaturfjernvarme for reduceret varmetab og såkaldt kold fjernvarme, hvor returvand kobles med varmepumper (fjernvarme 4.0).



Prosumer betegner forbrugeren, som samtidig producerer energi. Interviewpersonerne forventer, at især overskudsvarme fra supermarkeder, datacentre og industri i fremtiden sendes tilbage i systemet. Derudover peger nogle på, at den klassiske hierarkiske struktur i energisystemet vil blive mere og mere decentral. Det gælder særligt el og varme. Decentral produktion vil gøre den grønne omstilling hurtigere, da små anlæg er billigere og hurtigere at få i drift, og samtidig gøre energiforsyningen mere resiliens.



Energieffektivitet er en vigtig brik i det samlede energisystem. Jo mere effektivt de enkelte dele af systemet drives, jo mindre energi er der behov for.

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 flere danske forskningsmiljøer og en række af Danmarks største virksomheder har udviklet ekspertise i.

Figuren til venstre viser det udsnit af energisystemet, som især omfatter energieffektivitet. Ifølge en analyse fra Dansk Energi rummer industrien i Danmark det største energieffektiviseringspotentiale. Analysen understreger dog samtidig, at mange områder bør bringes aktivt i spil i en fremadrettet energipolitik.*

De interviewede energiexperts påpeger også, at energieffektivitet fremover bør betragtes mere holistisk. Fx bør det overvejes, hvor tykke murer og vinduer i bygninger skal være, før at mer-effektiviteten udvandes af materiale- og energiforbrug i produktionsprocessen.

Konstruktion og drift af bygninger er en af de helt store energiforbrugere. Der er fortsat et stort potentiale i at energieffektivisere den eksisterende bygningsmasse. Men nye bygninger er så godt isoleret og effektivt styret, at det store energiforbrug primært ligger i materialeproduktionen. Byggeriet har derfor behov for alternative, bæredygtige byggematerialer (fx biobaserede materialer som samtidig kan lagre CO₂ i dets levetid) og nye, digitale værktøjer, der understøtter energieffektive byggeprocesser.

Energieffektivitet handler imidlertid ikke kun om at reducere energiforbrug, men også om at mindske energispild. Det kan fx være ved at udnytte overskudsvarme fra datacentre eller industriprocesser, eller ved at indsamle biologisk affald fra husholdninger og fødevarerindustri, som kan blive til biogas. Det er illustreret med pilene i figuren til venstre, som peger tilbage i energisystemet.

Endelig findes der også betydelige energieffektiviseringspotentialer i de øvrige – og for forbrugerne mindre synlige – dele af energisystemet. Fra energieffektiv produktion af energi, over effektiv energilagring, til effektiv transport af energi i el-, varme-, gas- og vandinfrastrukturerne.

Forventninger til nybrud i de mindre synlige værdikæder i energisystemet er uddybet på næste side.

* Dansk Energi (2018): "Energieffektiviseringspotentialer 2020-30"



Design, fremstilling og installation handler om at gøre energiproducerende anlæg så effektive som muligt. I designfasen handler effektivitet om at udvikle anlæg, som producerer mest mulig energi pr. investeret krone. I fremstillingsfasen skal enheder og elementer produceres med så lavt energiforbrug som muligt. Og i installationsfasen handler effektivitet om, hvor anlæggene installeres. Fx bør vindmøller optimalt placeres, hvor det blæser mest, og PtX-anlæg bør anlægges, hvor de nemt kan kobles til fjernvarmesystemet, så overskudsvarme kan udnyttes. Sådanne koblinger og samtænkning af (hybrid)systemer forventes at få stor betydning for effektiv energiproduktion i fremtiden.



Drift og vedligehold af energiproducerende anlæg bruger også energi. Interviewpersonerne forventer, at forretningsområdet omkring drift og vedligehold kommer til at vokse markant for vind og sol i takt med, at ny teknologi og avancerede modeller kan forudsige vedligehold, og autonom højteknologi som fx droner kan bruges til inspektion. Drift af platforme til at udvinde olie og naturgas er særligt energiintensive og drives i dag gasturbiner. Nogen peger på, at elektrificering kan være en mulighed, men at det vil kræve meget vind- og solenergi.



Energilagring bliver en hjørnesten i fremtidens energisystem. Effektiv lagring af el er i dag den største udfordring. Her forventer de interviewede energieksperter at se markante nybrud og nye værdikæder. Det gælder både ift. mere effektive batterier og ifm. konvertering af el til brint eller e-fuels (PtX). I dag omdannes ca. halvdelen af energien i PtX-processer til varme. Selv med større og mere effektive anlæg, vil der genereres betydelige mængder overskudsvarme. Der er således et stort potentiale i at lagre varmen og på den måde skabe større effekt af den samlede energilagring.



Energiinfrastruktur dækker både el-, gas- og fjernvarmesystemet samt vandsektoren, som har stor betydning for, hvor effektivt forsyningen af energi og vand drives. Ifølge interviewpersonerne er der store effektiviseringspotentialer i mere intelligent styring af de store energiinfrastrukturer. Fx betyder effektelektronik og hastighedsregulering enormt meget for energiforbruget i de pumper, kompressorer og transformatorer, som driver infrastrukturen. I fremtiden vil vi se en tættere, digital kobling af infrastrukturen, som vil bane vejen for nye aktører og værdikæder.



Energiforbrug i bygninger, transport og industri er synligt for forbrugerne. Energieffektivitet handler derfor også om adfærd. Ændret adfærd vil kunne ændre energiforbruget. I fremtidens sammenhængende energisystem er det vigtigt at kende og kunne forudsige energibehovet. I den forbindelse vil produkters "real efficiency" skulle dokumenteres, så man ved, hvor meget energi forskellige apparater bruger. Det gælder særligt de pumper, kompressorer og transformatorer, som driver infrastrukturen, og som i det sammenhængende energisystem vil være intelligent styret af efterspørgsel, aktuel produktion, vejrudsigter mv.

Sektorkobling med fokus på CCUS og PtX

Kobling af energisektoren til andre sektorer er hovednøglen til grøn omstilling. Energisektoren kan ikke omstilles isoleret fra resten af samfundet. Sektorkobling handler derfor om at bringe alle relevante ressourcer i spil på tværs af sektorer.

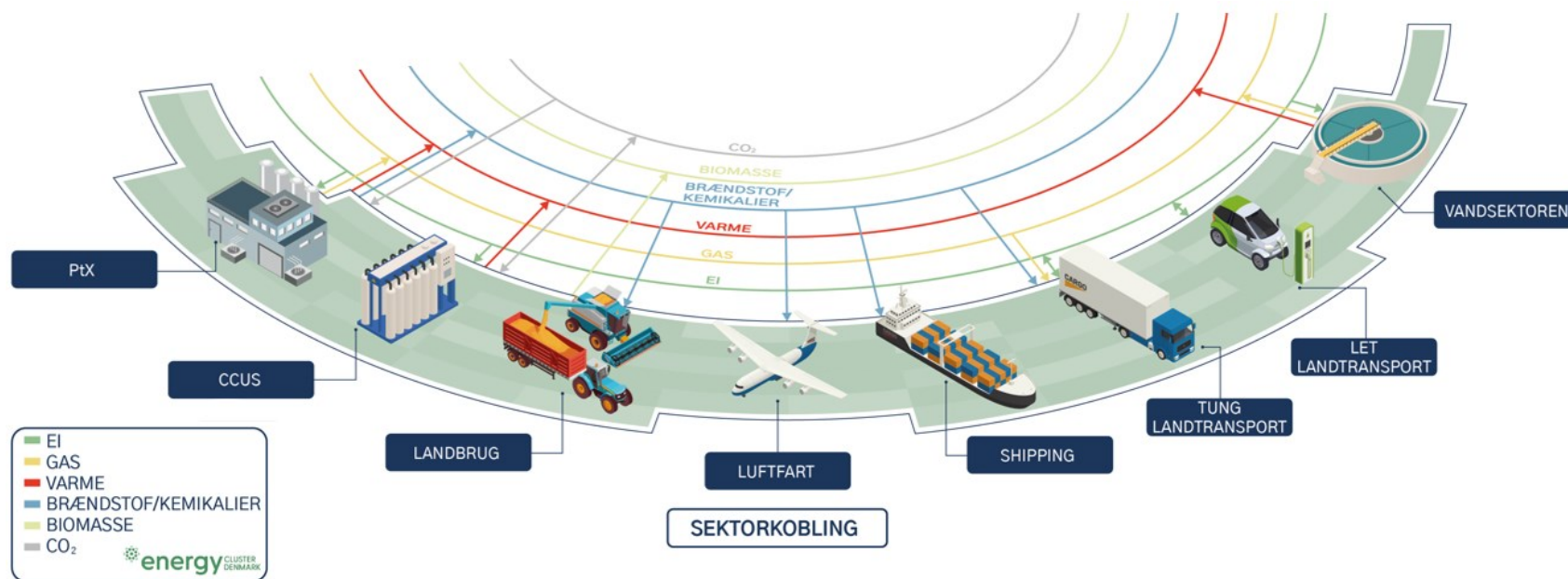
Figuren neden for er det udsnit af det sammenhængende energisystem, som kobler den klassiske energisektor til en række andre sektorer.

Til højre i figuren er vandsektoren illustreret. Vandværker kan bidrage til fleksibilitet i elnettet via intelligent styring af pumper. De mange kilometer vandrør kan kobles med varmepumper og dermed fjernvarmesystemet. Og endelig kan overskudsvarme og gas fra spildevandsanlæggenes iltningsprocesser kobles til fjernvarme- og gassystemet.

Transportsektorens omstilling fra fossile brændsler til vedvarende energi kræver både elektrificering og nye syntetiske brændstoffer (e-fuels). Lettere landtransport kan elektrificeres. Fremtidens mange elbiler kan samtidig bidrage til fleksibilitet i el-systemet ved at stille deres batteri til rådighed, når bilen ikke bruges. Dele af den tunge landtransport kan også køre på el, men ellers er brint og e-fuels mest oplagt. Shipping- og luftfartsindustrien vil være afhængig af e-fuels som fx metanol, ammoniak eller kerosin.

Landbrugssektoren spiller også en vigtig rolle i fremtidens energisystem, da biomasse fra marker og dyrehold konverteres til biogas. Samtidig kan man producere CO₂-frie kemikalier til landbruget med kvælstof og brint fra vedvarende energikilder.

Endelig indeholder figuren også to lovende og nationalt prioriterede områder – nemlig Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) og Power to X (PtX). CCUS er processen hvor CO₂ fanges fra fx biogasanlæg, affaldsforbrænding eller tung industri og komprimeres eller fordråbes mhp. lagring i undergrunden eller udnyttelse til produktionen af e-fuels. PtX beskriver den proces, hvor strøm og vand bliver lavet om til brint gennem elektrolyse. Brinten kan bruges direkte i fx lastbiler eller industrien, men kan også viderekonverteres til andre brændstoffer eller kemikalier. CCUS og PtX er begge meget strømkrævende processer, som producerer store mængder overskudsvarme. Den varme skal integreres i energisystemet, som de røde pile illustrerer. Forventninger til nybrud i værdikæden for hhv. CCUS og PtX er præsenteret på de næste to sider.



CCUS – forventninger til nybrud i værdikæden

15



Kilde er derfra CO₂ fanges. Man kan overordnet tale om tre kilder: 1) fossil CO₂ fra afbrænding af fossile brændsler, fx i industrien, 2) biogen CO₂ fra biomasse i biogasanlæg eller kraftvarmeværker, 3) CO₂ direkte fra atmosfæren. Biogen CO₂ er en begrænset ressource, mens CO₂ fra atmosfæren i praksis er en ubegrænset ressource.



Fangst er de teknologier, som kan separere CO₂ fra røggas, biogas eller direkte fra atmosfæren. Der er især brug for udvikling og billiggørelse af Direct Air Capture (DAC), hvor CO₂ trækkes direkte ud af atmosfæren. Indholdet af CO₂ i atmosfæren skal nedbringes for at bremse den globale opvarmning. Her kan store - evt. offshore - DAC-anlæg drevet af sol- og vindenergi bidrage. Interviewpersonerne forventer dog ikke, at DAC er teknologisk og markedsfølsomt modent før om ca. 20 år.



Kompression/fordrøbning er den proces, som den opfangede CO₂ skal gennemgå, før den kan transporteres. CO₂ kan enten komprimeres under tryk eller fordråbes til flydende form. Hvis transporten skal foregå i tanke på lastbil, tog eller skib, vil man typisk fordråbe CO₂ til flydende form, hvor densiteten minder om vand og indeholder meget (ca. 1 ton) CO₂ pr. kubikmeter. Kompression/fordrøbning er begge teknologisk meget modne processer.



Transport af CO₂ kan foregå via rørføring eller med land- eller vandtransport. Interviewpersonerne peger på muligheden for en dedikeret CO₂-rørinfrastruktur, der kan forbinde de tidlige led i værdikæden (fangst og kompression/fordrøbning) med de sene led (lagring eller udnyttelse).



Lagring af CO₂ i undergrunden kan enten foregå onshore eller offshore. I Danmark forventer interviewpersonerne primært, at se CO₂-lagring offshore i udtømte naturgasfelter. Der findes på verdensplan ingen erfaring med offshore lagring af CO₂. Der skal derfor en del udvikling til, før Danmark har en succesfuld værdikæde for offshore lagring af CO₂. Ifølge interviewpersonerne er de største udfordringer storskala-transport af CO₂ med skib, overførsel af CO₂ fra skib til boreplatform samt løbende monitorering af CO₂-depoter.



Udnyttelse af CO₂ er også en mulighed, men det er en energikrævende proces. CO₂ er et restprodukt, når energien fra fx biomasse eller fossile brændstoffer er trukket ud. Men hvis man tilsætter brint til CO₂ under højt tryk og høj temperatur, kan man lave fx e-fuels til tung transport (PtX). Der er muligvis også perspektiver i at binde CO₂ til byggematerialer eller andre produkter. Men det kræver teknologisk og markedsfølsomt modning.

PtX – forventninger til nybrud i værdikæden



Vedvarende energi fra vind og sol kan konverteres til brint, flydende brændstoffer eller kemikalier, kaldet Power-to-X (PtX). PtX kræver store mængder elektrisk energi. Der er derfor vigtigt at Danmark fortsætter med at udbygge produktionskapaciteten for vedvarende energi. Interviewpersonerne ser nye værdikæder udfolde sig, når energiproduktion og PtX-anlæg tænkes sammen, fx på energigrøen. Mulighed for at PtX-anlæg kan lave en direkte el-forbindelse til solcelleanlæg eller vindparker kan skabe incitament til at samplacere forbrug og produktion, da en direkte linje kan medføre en tariffbesparelse.



Elektrolyse anvender elektricitet til at spalte vandmolekyler til brint og ilt. Derved bliver den elektriske energi omdannet til kemisk bundet energi i brintmolekylerne. I det samlede energisystem kan elektrolyseanlæg spille flere roller. Foruden brintproduktion - og derved energilagring - kan anlæggene bidrage til at balancere el-systemet ved at skrue op og ned for brintproduktionen afhængig af mængden af vedvarende energi. Forretningen i elektrolyseanlæg forventes således at kunne baseres på både brintproduktion og en balanceringsfunktion, men også udnyttelse af overskudsvarme.



Overskudsvarme fra elektrolyseprocessen kan udnyttes til opvarmning af bygninger eller i industriprocesser. Elektrolyse er en energikrævende proces, hvor ca. halvdelen af den elektriske energi omdannes til varme. Hvis PtX-anlæg placeres i nærheden af fjernvarmeområder eller som led i en industriel symbiose kan den varme udnyttes. Interviewpersonerne peger på, at salg af overskudsvarme fra særligt store PtX-anlæg er afgørende for forretningsmodellen. Dog kan hensyn til omkostningerne ved at føre elektrisk energi i land tale for at placere PtX-anlæg på energigrøen, hvor overskudsvarmen ikke kan udnyttes. Rørlægning til brint er ca. fem gange billigere end kobberkabler til el, og der kan transporteres mere energi via brint end el.



Brint fra elektrolyseprocessen kan enten udnyttes direkte eller konverteres videre til e-fuels eller kemikalier. Brint kan bruges i de dele af transportsektoren og industrien, som ikke kan elektrificeres. Interviewpersonerne forventer, at der vil udvikles en dedikeret brintinfrastruktur, herunder rørføring til Tyskland. I den forbindelse skal kobling med det eksisterende gassystem undersøges. Interviewpersonerne forventer, at værdikæderne omkring brintfremstilling og -distribution vil udvikles hastigt i de kommende år.



E-fuels er syntetiske, flydende brændstoffer, som har potentiale til at erstatte fossile brændstoffer i transportsektoren. Eksempelvis kan man fremstille metanol til skibe eller kerosin til fly, hvis man tilsætter CO₂ til brint under højt tryk og høj temperatur. Derved skabes der en værdikæde til CO₂-fangst. Interviewpersonerne understreger, at området omkring e-fuels udvikles hastigt i disse år. Det er derfor vanskeligt at pege på, hvad der bliver det eller de førende e-fuels. Det afhænger bl.a. af efterspørgselssiden.



Kemikalier fremstillet syntetisk forventes at have store energi- og klimamæssige potentialer. Det største potentiale ligger formentlig i udvikling af grøn ammoniak, der anvendes til kunstgødning i landbruget. Den globale ammoniakfremstilling tegner sig årligt for 1-2 pct. af verdens energiforbrug og udleder ca. 1 pct. af alle menneskeskabte CO₂-emissioner. Ved at blande brint med kvælstof, kan man producere grøn ammoniak.

Bilag I: Værdikædeoversigter

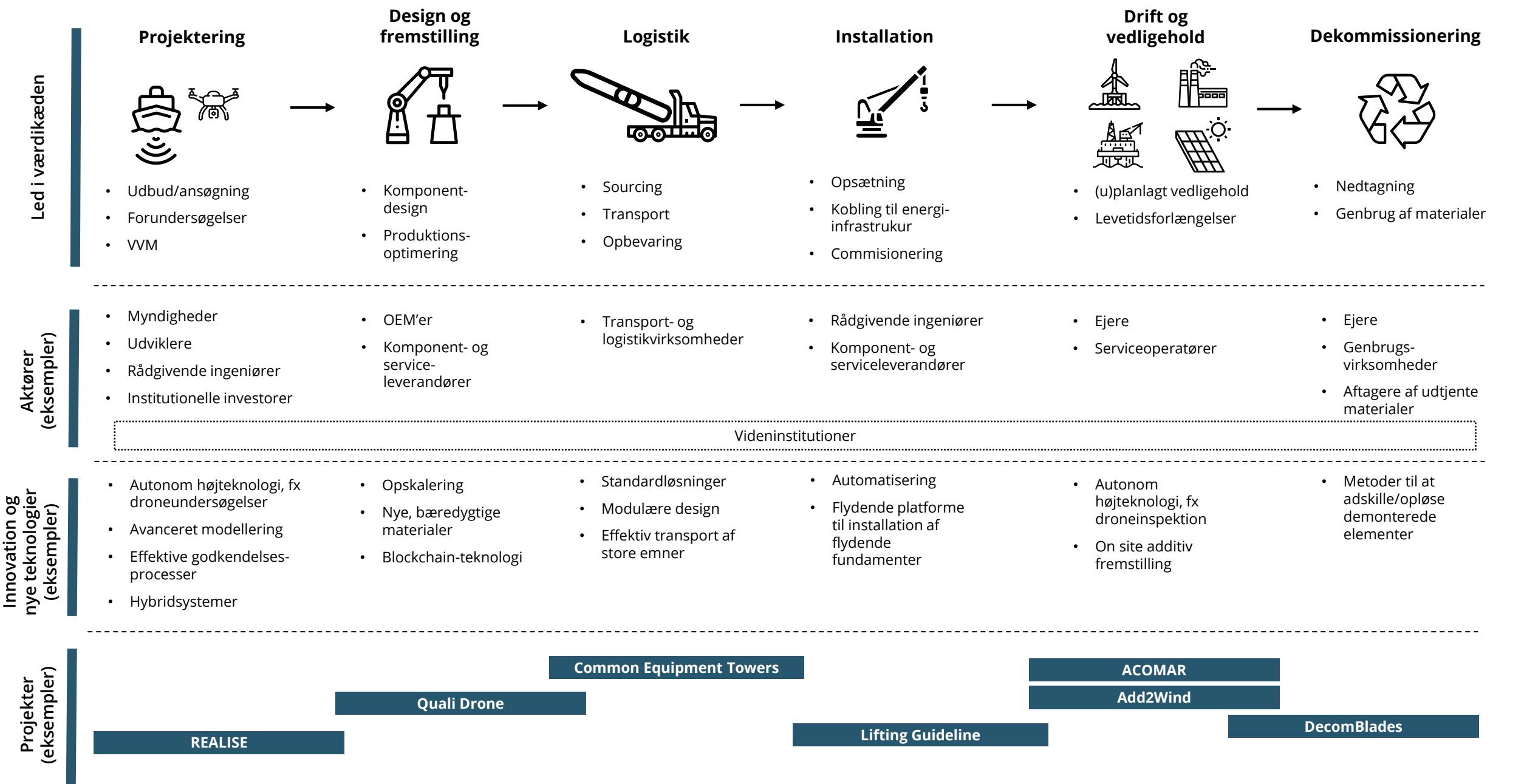


På de følgende sider findes værdikædeoversigter for:

- Energiproduktion
- Energilagring
- Energiinfrastruktur
- Energieffektivitet
- CCUS
- PtX

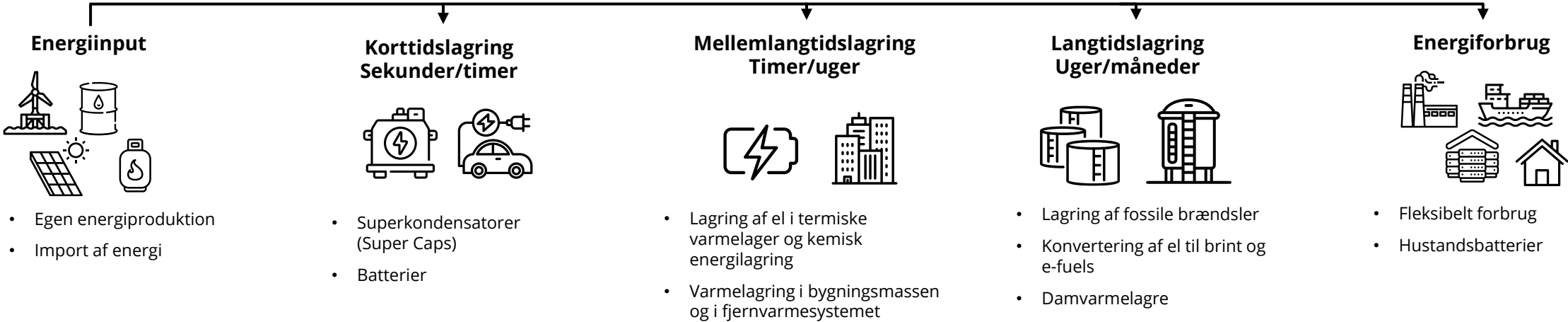
Hver oversigt indeholder en simpel illustration af værdikædens led med eksempler på hvilke aktører, der primært er involveret i hvert led, samt hvilken innovation/nye teknologier, sektoren forventer at se i fremtiden. Derudover giver oversigten eksempler på udviklingsprojekter relateret til et eller flere led i værdikæden.

Energiproduktion

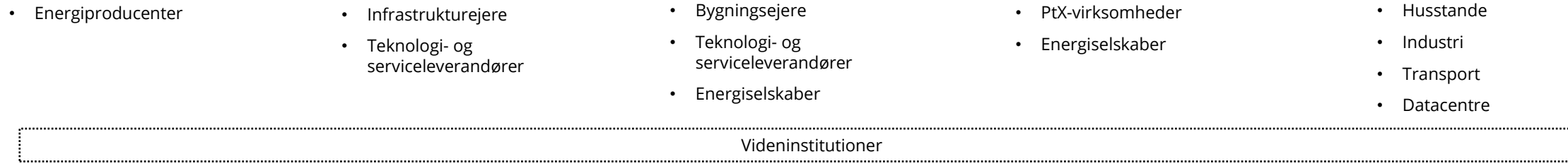


Energilagring

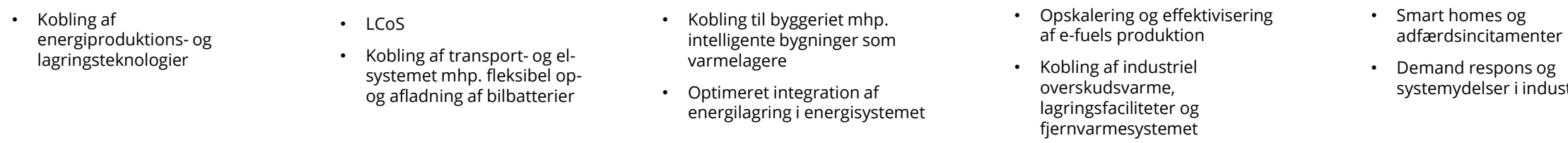
Led i værdikæden



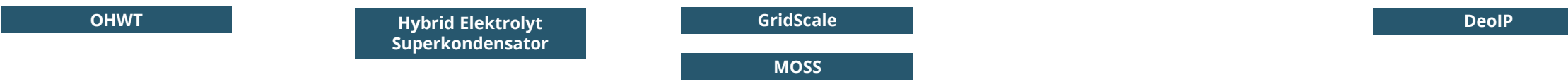
Aktører (eksempler)



Innovation og nye teknologier (eksempler)



Projekter (eksempler)



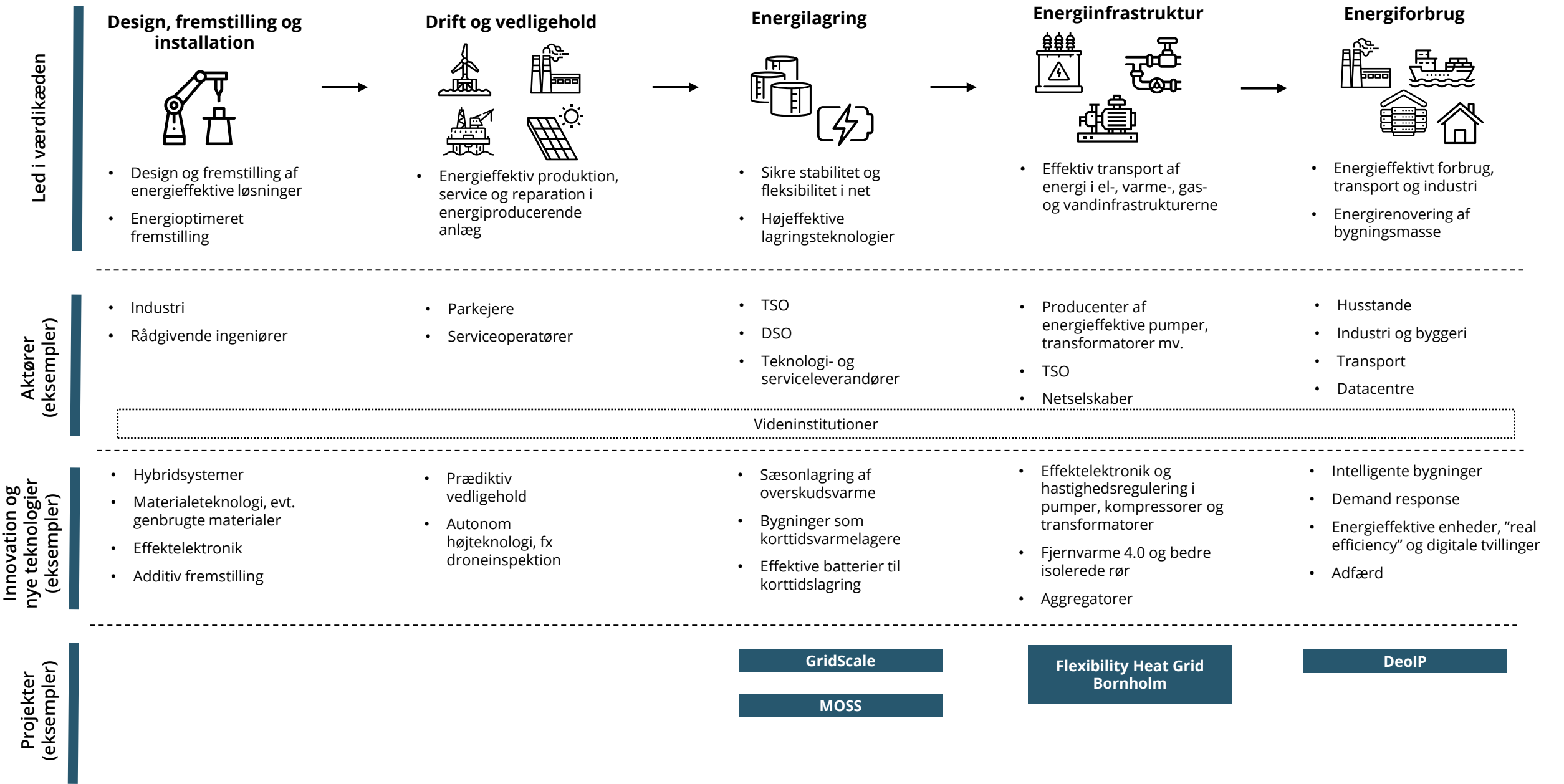
Energiinput	Eksport	Transmission	Distribution	Prosumer
- Egen energiproduktion - Import af energi	Eksport af energi til andre lande	- Transport af energi på tværs af landsdele og lande - Fleksibilitetsydelser	- Fordeling af energi til industri og husstande - Salg og køb af energi	- Energiforbrug - Lokal energiproduktion - Energifællesskaber
- Ejere af energi-producerende anlæg - Energiselskaber	- Energihandlere - TSO	- TSO - Industrier og anlæg, der kan agere fleksibelt - Servicevirksomheder, fx forecast	- Netselskaber - Fjernvarmeselskaber - Gasoperatører - Vandselskaber	- Husstande - Industri og datacentre - Supermarkeder - Transport
Videninstitutioner				
Teknologier til integration af vedvarende energikilder i energinfrastrukturen	- Standardisering af datakommunikation - Energiører	- Etablering af energiører og integration med eksisterende infrastruktur - Udvikling/tilpasning af rørsystemer til CO₂ og brint	- Øget fleksibilitet via realtidsdata - Fjernvarme 4.0, kold fjernvarme og fjernkøling	- Integration af overskudsvarme i fjernvarmesystemet - Udvikling af decentrale, resiliente energisystemer (micro grids)
Nordic Market Based Balancing System	Offshore Energy Hub	Flexibility Heat Grid Bornholm	Sektorkobling gennem energifællesskaber GreenDC Nordhavn Energidata i realtid	

**Aktører
(eksempler)**

Innovation og nye teknologier (eksempler)

Projekter (eksempler)

Energieffektivitet



Kilde



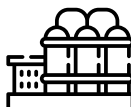
- Fossil CO₂
- Biogen CO₂
- Atmosfære



Fangst



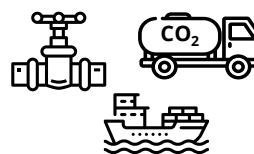
- Separation af CO₂ fra fx røggas eller biogas

Kompression/
fordråbning

- Komprimering af CO₂
- Fordråbning til flydende CO₂



Transport



- Rørføring
- Landtransport
- Vandtransport

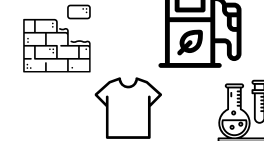


Lagring



- Onshore og offshore lagring af CO₂
- Anvendelse af biokul i landbruget

Udnyttelse



- Binde CO₂ til brint, byggematerialer mv.

- Biogasanlæg og kraftvarmeværker
- Affaldsforbrænding
- Tung industri og olieraffinaderier

- Teknologi- og serviceleverandører til CO₂ fangst

- Kompression/ fordråbnings-virksomheder

- Infrastrukturejere
- Olie-/gasindustrien
- Transport- og logistikvirksomheder

- Olie-/gasindustrien
- Rådgivende ingeniører
- Landbruget

- Aftagere, fx rederier og industri

Videninstitutioner

- Direct Air Capture (DAC)-teknologier til omkostningseffektivt at trække CO₂ ud af atmosfæren, fx store offshore anlæg drevet af sol og vind
- Ship-based carbon capture (SBCC)

- Energooptimerede trykssystemer og kølemetoder

- Skalering af skibe der kan transportere CO₂

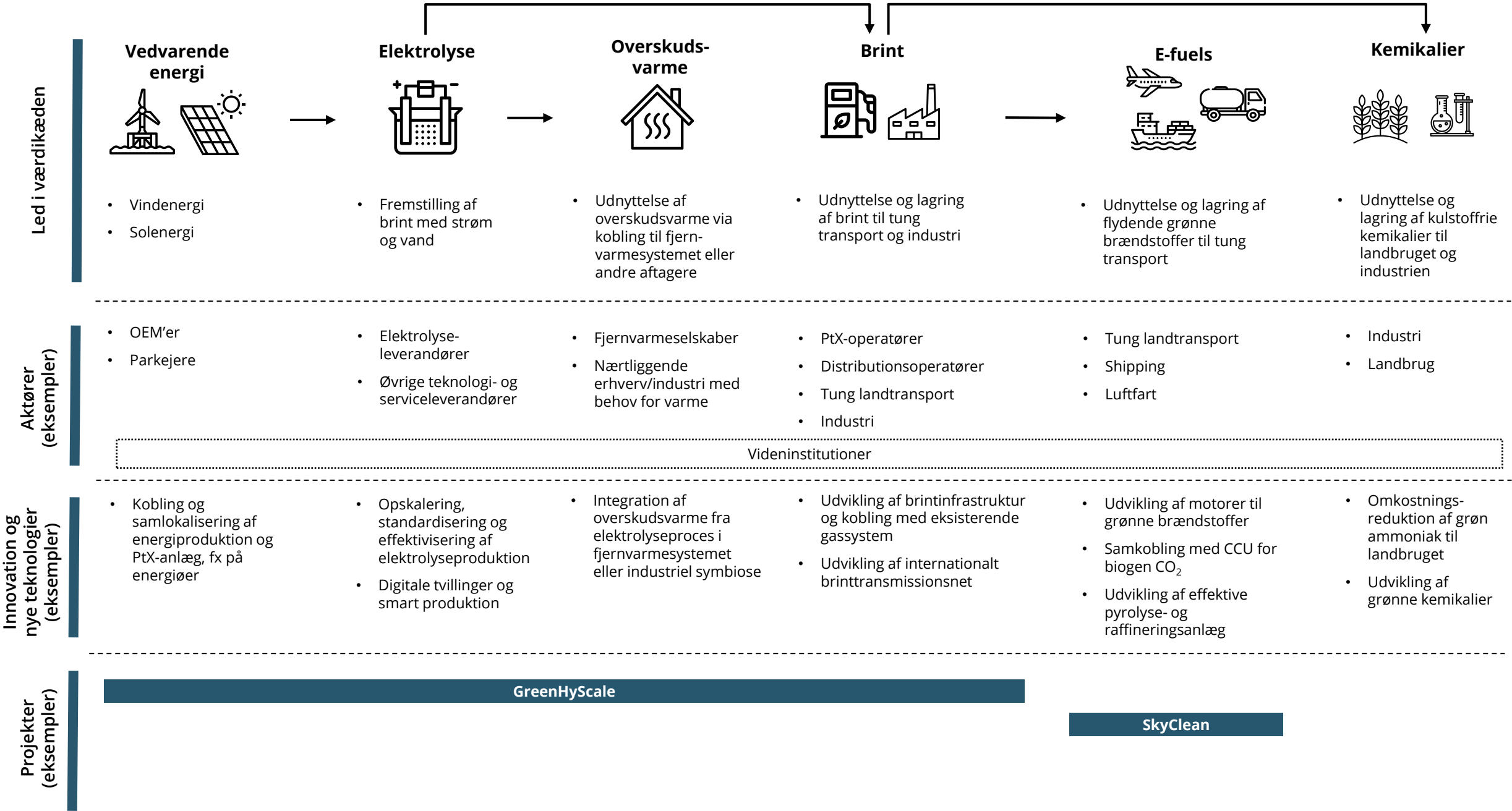
- Overførsel af CO₂ fra skib til platform
- Metoder til nedpumpning og monitorering af CO₂ offshore
- Storskala pyrolyse demonstration (PyCCUS)

- Omkostnings-effektive konverterings-processer
- Tilgængelighed af biogen CO₂

Project Greensand

GreenHyScale

SkyClean



Bilag II: Metodebeskrivelse



Metodebeskrivelse

Kvalitativ analyse af værdikæder i Danmarks energiklynge

Analysen og værdikæderne, som er illustreret i denne rapport, er baseret på interviews med forskere, virksomheder, klynger og operatører fra forskellige dele af energisystemet (se overblik til højre).

Interviewene er foretaget som semistrukturerede online interviews i foråret 2022. Interviewpersonerne er blevet præsenteret for skitser til værdikæderne, som løbende er justeret pba. deres input.

Foruden interviews bygger analysen på indsigter fra en række eksisterende, analyser, foresight studier og politiske strategier.

Kvantitativ analyse af udviklingen i Danmarks energiklynge

Den kvantitative analyse af udviklingen i energiklyngens erhvervsaktivitet er baseret på en opdatering af en omfattende kortlægning af klyngens virksomheder fra 2019.

Kortlægningen er oprindeligt foretaget af klyngeorganisationen CLEAN, som i 2019 omfattede de energiteknologiske virksomheder, der i dag er en del af Energy Cluster Denmark.

Kortlægningen er ifm. nærværende analyse opdateret med virksomheder, som er etableret siden 2019, og udvidet til at omfatte alle virksomheder, som indgår i værdikæder i energiklyngen. Opdateringen er primært foretaget med udgangspunkt i Energy Cluster Denmark's medlemsvirksomheder.

Metoden for den oprindelige kortlægning er baseret på 42 udvalgte branchekoder, samt en online snowball sampling af større, relevante branche- og klyngeorganisationers medlemsider.

Branchekoderne er udvalgt på baggrund af branchekoderne blandt CLEAN's og Innovationsnetværket Smart Energy's medlemmer, tidligere analyser inden for forskellige dele af energiområdet og en manuel gennemgang af DB07-oversigten.

Interviewpersoner

Navn, titel	Organisation
Bo Svoldgaard, CTO	Vestas
Carolina Benjaminsen, CEO	DigitalLead
Christina Melvang, CEO	We Build Denmark
Christoffer Greisen, Project Manager	DTU Elektro
Frank Rosager, Direktør	Biogas Danmark
Hanne Storm Edlefsen, Vice President for Eney Islands	Energinet
Henrik Stiesdal, Direktør	Stiesdal A/S
Johan Byskov Svendsen, Development and Commercialisation Manager	Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping
Kim Behnke, Udviklingschef	Dansk Fjernvarme
Lars Bonderup Bjørn, CEO	EWII
Niels-Arne Baden, Head of Strategy & Public Affairs	Green Hydrogen Systems
Ole Hansen, Head of Development, Business & JV Management	TotalEnergies Denmark
Peder Østermark Andreasen, Bestyrelsesformand	Energy Cluster Denmark
Per Hessellund Lauritsen, Offshore Research Manager	Siemens Gamesa Renewable Energy
Philip Loldrup Fosbøl, Associate professor	DTU
Torben Funder-Kristensen, Head of Public and Industry Affairs	Danfoss

IRIS GROUP

CHRISTIANS BRYGGE 28, 1. SAL | DK-1559 KØBENHAVN V

IRISGROUP@IRISGROUP.DK | WWW.IRISGROUP.DK