



Roadmap for elektrificering i Danmark

Hovedrapport



Februar 2020

Udarbejdet af:

Ea Energianalyse
Gammeltorv 8, 6. tv.
1457 København K
T: 60 39 17 16
E-mail: info@eaea.dk
Web: www.eaea.dk

Indhold

1. Baggrund og forord.....	5
2. Grundlag for ambitiøs elektrificering.....	8
2.1. Indledning.....	8
2.2. Scenarier: COMBO og Ambitiøs elektrificering	8
2.3. Hvor langt kan vi nå?	10
3. Elektrificeringsscenarier i EU-lande	12
4. Elektrificeringsscenarier for Danmark.....	16
4.1. Lagring og fleksibilitet – Flex scenarier.....	19
4.2. Fjernvarme.....	20
4.3. Elprisens udvikling	21
4.4. Afregningspriser	22
5. Elektrificering og økonomi	25
6. Konklusioner og elementer til en roadmap.....	27
6.1. Barrierer og udfordringer	28
6.2. Virkemiddelkataloger for øget elektrificering	30
Bilag – vigtigste beregningsforudsætninger	38

1. Baggrund og forord

Energifonden er en almennyttig fond, der er et udspring af en politisk aftale (ELFOR-aftalen) fra 2004. Energifondens formål er at fremme en bredspektret oplysnings- og rådgivningsindsats for energibesparelser, vedvarende energi og et fossilfrit energisystem. Energifonden har i perioden december 2018 – februar 2020 udvirket en analyse med følgende formål:

At undersøge muligheder og udfordringer samt klimaeffekter af en markant øget elektrificering af det danske energiforbrug samt at konkretisere dette i en praktisk Elektrificeringsroadmap, der kan inspirere beslutningstagere og aktører til aktiv handling.

Projektet har indeholdt fire delopgaver:

- Litteraturstudie af muligheder for elektrificering
- Case-studier af konkrete projekter med elektrificering
- Modelanalyser af scenarier for elektrificering af det danske og europæiske energisystem
- Workshops

Litteraturstudie, case-studier, scenarieanalyser samt workshopopsamling af-rapporteres i særskilte baggrundsrapporter og bilag. Arbejdet er gennemført af Ea Energianalyse a/s, og projektets fremdrift og indhold har været understøttet af en styregruppe bestående af:

Anne Grete Holmsgaard, Energifonden (Formand)

Troels Ranis, Dansk Industri

Anders Bavnhøj Hansen, Energinet

Jesper Koch, Grøn Energi

Kamilla Thingvad/Torsten Hasforth, Dansk Energi

Frederik Silbye, Klimarådets sekretariat

Jens Astrup Madsen/Simon Horsholt, Landbrug & Fødevarer

Torben Lund Kudsk, FDM

Hans-Henrik Lindboe, Ea Energianalyse (projektleder)

Amalie Tokkesdal, Ea Energianalyse (sekretær for styregruppen)

Energifonden valgte at igangsætte projektet i efteråret 2018 i lyset af den forestående COP24 i Polen og som opfølgning på Energiaftalen af 29. juni 2018. Formålet var at undersøge perspektivet i elektrificering som klimatiltag.

Formålet var også at vurdere konkrete barrierer for elektrificering i Danmark, og at drøfte muligheder og fordele ved, at Danmark går foran på dette område.

Med EU Kommissionens scenarieudspil til COP24 fra december 2018, med European Green Deal fra december 2019, og med forslaget til en dansk Klimalov fra januar 2020 med bred politisk opbakning, er det styregruppens opfattelse, at behovet for en *Roadmap for elektrificering* er vokset under projektførelsen. Det anføres ofte, at øget *sektorkobling* er vigtigt for den grønne omstilling. Øget elektrificering er det helt afgørende element i sektorkobling.

I denne analyserapport er der gennemregnet to scenarier for EU-lande og Danmark frem mod 2050. Scenarierne omfatter alle energiforbrugende sektorer, dog ikke international skibsfart. International luftfart er også med, hvilket ikke er omfattet af Danmarks nye klimalov. Til gengæld omfatter klimaloven landbrug, andre klimagasser end CO₂ samt CO₂-optag i jord og skov (LULUCF), hvilket ikke indgår i denne rapporters scenarieanalyser.

Styregruppen noterer sig bl.a. følgende konklusioner fra nærværende analyser:

- Det teknisk-økonomisk potentiale for direkte og indirekte elektrificering er mere end 80% af det samlede energiforbrug i EU-landene – inklusive Power-to-X (PtX)-potentialet.
- Ambitiøs elektrificering forudsætter betydelige investeringer i transportsektoren, i boliger og andre ejendomme, i virksomheders procesanlæg samt i el- og fjernvarmesektoren.
- Produktion af VE-el i Danmark og danske farvande skal mere end fordobles frem mod 2030, og igen næsten fordobles mod 2050. En sådan voldsom udbygning med især vind og sol sker ikke kun i Danmark, men i store dele af Europa. Det forudsætter et åbent elmarked med handel på tværs af landegrænser for at kunne nyttiggøre VE-el effektivt.
- Offshore vindkraftressourcerne i danske farvande er i analysen den største bidragsyder til dansk grøn omstilling og elektrificering, og kan blive en meget betydelig dansk styrkeposition frem mod 2030 og 2050.
- Øget fleksibilitet i energisektoren er afgørende for realismen i et ambitiøst elektrificeringsscenario. Åbne transmissionsforbindelser til vandkraftlagre i Norden og i alperne, sæsonvarmelagre i fjernvarmen,

fleksibel produktion af PtX samt intelligent elforbrugsstyring er alle vigtige elementer.

- Direkte elektrificering i form af især eldrevne køretøjer og varmepumper har som hovedregel markant bedre samfundsøkonomi end indirekte elektrificering gennem elektrolyse og PtX. Begge dele skal i spil i betydeligt omfang for at nå klimamålene.
- Det er vigtigt, at det langsigtede mål om netto-nul i 2050 ikke tabes af syne. Analyserne peger på, at 2050-målet kan nås til en samfundsøkonomisk omkostning, der årligt er op imod 20 mia. kr. lavere i 2050 ved ambitiøs fokus på direkte elektrificering end i referencen med høj fokus på PtX (baseret på EU's COMBO-scenarie).
- Forudsætningen for ambitiøs elektrificering er især, at aktørerne har viljen til at foretage de nødvendige investeringer inden for få år, hvilket kræver gode politiske rammer, der gør investeringerne attraktive. Dette gælder både efterspørgselssiden (husholdninger, industri, transport), udbudssiden (vind, sol og PtX) samt infrastruktur (eltransmission, eldistribution, fjernvarme, energilagring).
- Der er behov for en hurtig og fokuseret dansk FUD-indsats der understøtter elektrificering, især målrettet højtemperatur-varmepumper i industrien, lagringsteknologier, PtX-teknologier og intelligent forbrugsstyring.

Styregruppen vurderer, at det virkemiddelkatalog, der er udviklet og drøftet ved projektets workshops, yder et nødvendigt og vigtigt bidrag til den betydelige omstillingsindsats, som alle sektorer og brancher i Danmark skal yde for at nå 70%-målet i 2030 og målet om netto-nul i 2050. Det skal samtidig understreges, at styregruppemedlemmernes virksomheder og organisationer ikke kan tages til indtægt for konklusioner og anbefalinger i denne rapport.

*Anne Grete Holmsgaard, formand for Energifonden og projektets styregruppe
25. februar 2020.*

2. Grundlag for ambitiøs elektrificering

2.1. Indledning

EU's klimamål og Paris-aftalen sætter de internationale målsætninger for reduktion af CO₂ for at holde temperaturstigningen under ("well below") 2°C i forhold til det førindustrielle niveau og bestræbe sig på at begrænse temperaturstigningen til 1,5°C. I Danmark er der i 2018 indgået en bred energiaftale, der skal reducere CO₂-udledningen fra energisektoren som et skridt på vejen mod mindst 55% VE i 2030, og netto nul CO₂-emission i 2050. Endvidere har et bredt flertal i Folketinget indgået aftale om en bindende klimalov, der skal sikre, at Danmark reducerer drivhusgasemissionerne med 70% i 2030 ift. 1990 og på langt sigt bliver klimaneutral i senest 2050. Forslag til lovtekst blev sendt i høring den 10. januar 2020.

Det fremgår af lovforslaget, at Danmark skal reducere udledningen af drivhusgasser på dansk grund med 70% af udledningen i 1990. Reduktionen måles som gennemsnit af årene 2029-2031. Drivhusgasudledninger opgøres i overensstemmelse med FN's opgørelsesmetoder og omfatter også kulstofoptag/-emissioner fra jord og skov (LULUCF) samt CO₂-lagring.

De seneste år har udviklingen af VE i elsektoren globalt taget fart, bl.a. drevet af store prisreduktioner på elproduktion fra sol og vind. I 2018 oversteg den globale kapacitet af vind og sol 1.000 GW, og bl.a. Bloomberg forudsiger, at vind og sol vil tiltrække mere end 70% af globale investeringer i elproduktion frem mod 2040.

Selvom biomasse ved afbrænding er klimaneutralt i henhold til FN's opgørelsesmetoder, er der stigende fokus på udfordringerne ved at øge biomasseanvendelsen til el-, varme-, transport- og industriformål. Udfordringerne er dels knaphed på bæredygtige ressourcer, dels usikkerhed om tidsperspektiv for CO₂-gevinsten ved overgang fra fossile brændsler til biomasse.

Forventningerne om en relativt hurtig, grøn omstilling i elsektoren i EU og globalt, i kombination med udfordringerne ved at finde bæredygtige grønne brændsler gør, at elektrificering i stigende grad ses som en afgørende forudsætning for at nå de danske, europæiske og de globale klimaambitioner.

2.2. Scenarier: COMBO og Ambitiøs elektrificering

Litteraturstudiet har givet et overordnet overblik over mulighederne for elektrificering i sektorerne individuel rumvarme, fjernvarme, industri og transport.

Data fra litteraturstudiet har dannet en væsentlig del af grundlaget for udarbejdelse af sammenhængende elektrificeringsscenarier, der omfatter størstedelen af EU-landene. Særligt har rapporten "Kortlægning af energiforbrug i virksomheder"¹, med en samkøring med databaser over sektoropdelt energiforbrug i EU-landene, været afgørende ved udarbejdelse af analysegrundlaget for industrisektoren. En væsentlig kilde til selve scenarieanalyserne er EU Kommissionens "In-depth analysis in support of the Commission's communication COM(2018) 77" fra november 2018. Rapportens kombinations-scenarie (COMBO) er udgangspunkt for denne rapport's referenceudvikling frem mod 2050.

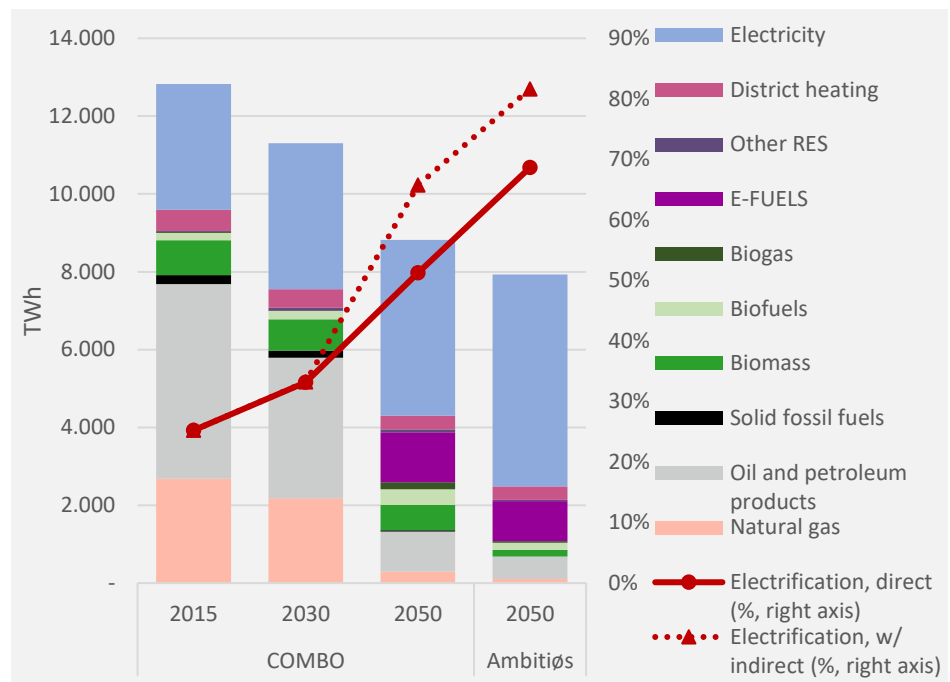
Ved brug af el- og varmemarkedsmodellen Balmorel og andre modelværktøjer er COMBO-scenariet konkretiseret for et modelområde, der indeholder EU28-landene, dog ikke Balkan, enkelte østeuropæiske lande og den iberiske halvø. Formålet med en samlet modellering er at analysere sammenhængen mellem regional udbygning af fluktuerende elproduktionsteknologier som vind og sol, øget efterspørgsel efter elektricitet og elinfrastruktur, samt endelig de økonomiske konsekvenser.

COMBO-scenariet viser, at ambitiøse klimamål for EU-landene i 2050 giver behov for at udfase størstedelen af de fossile brændsler gennem energieffektivisering og brændselsskift. På grund af begrænsninger i de samlede biomasseressourcer spiller forskellige typer *elektrofuels* (PtX), ud over direkte elektrificering, en væsentlig rolle i COMBO-scenariet. Produktion af elektrofuels betegnes i denne rapport, ligesom anvendelse af el til fjernvarmeproduktion, som indirekte elektrificering².

I denne rapport er der ud over COMBO-scenariet gennemregnet et ambitiøst elektrificeringsscenarie. Endvidere er konsekvenserne af øget fleksibilitet i elforbruget beregnet for såvel COMBO-scenariet som for det ambitiøse scenarie.

¹ Udarbejdet af Viegand & Maagøe for Energistyrelsen i 2015.

² Det betegnes som direkte elektrificering når energibæreren helt ud til slutbrugeren er el.



Figur 1: Samlet endeligt energiforbrug i EU28-landene i analysens to hovedscenarier (venstre akse) samt direkte og indirekte elektrificeringsgrad (højre akse).

Den direkte elektrificeringsgrad i en sektor defineres som elforbrug divideret med totalt slutforbrug i sektoren³. Det ses, at elektrificeringsgraden samlet set vokser fra ca. 25% i 2015 til godt 50% i 2050 (COMBO). Hertil kommer den indirekte elektrificering især gennem PtX, således at el samt elbaserede brændstoffer udgør 66% af det endelige energiforbrug i 2050. I scenariet Ambitiøs elektrificering er den direkte elektrificering knap 70%, mens samlet elektrificering er hele 82%. Dette uddybes i næste afsnit.

Det har været et ønske fra projektets styregruppe, at scenarierne rammer samme klimaambition i 2050. Det har endvidere været et ønske, at det ambitiøse elektrificeringsscenario relateres til målsætningen om 70% reduktion af klimagasser i Danmark i 2030.

2.3. Hvor langt kan vi nå?

Med udgangspunkt i litteraturstudiet, gennemgang af konkrete elektrificeringscases samt input på workshops er der udviklet et ambitiøst scenarie med markant fokus på direkte elektrificering i alle sektorer. Hovedantagelsen er, at varmepumper frem mod 2030 og 2050 kan finde betydelig udbredelse til rumvarme, til termiske industriprocesser samt til vejtransport.

³ Ved beregning af elektrificeringsgraden inkluderes omgivelsesvarme, der nyttiggøres af varmepumper, ikke.

Forudsætninger om den opnåelige elektrificeringsgrad i Ambitiøs elektrificering i 2050 opdelt på hovedsektorer ses i Tabel 1, sammenlignet med 2015 og sammenlignet med udvalgte scenarier fra EU.

	2015	EU		Ea
		Baseline	Combo	Ambitiøs
Total	22%	40%	51%	70%
Transport	1%	11%	21%	43%
Bygninger	34%	65%	74%	88%
Industri	33%	42%	52%	70%

Tabel 1: Overblik over direkte elektrificering i EU i 2015, EU-baseline, EU Combo samt det ambitiøse elektrificeringsscenarie for Modelområdet i 2050.

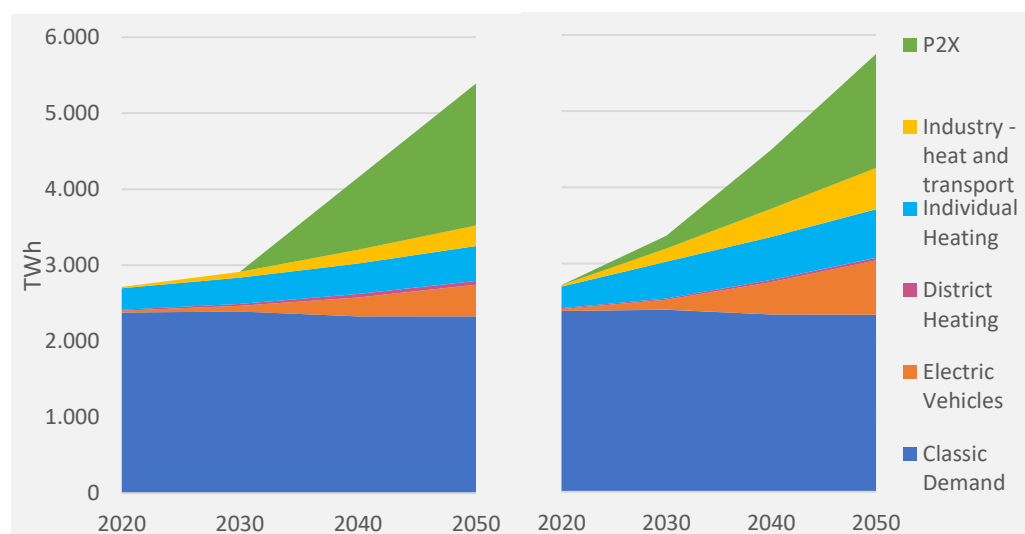
Transport: Det antages i Ambitiøs elektrificering, at person- og varebiler er næsten fuldt elektrificeret i 2050. Hertil kommer en væsentlig del af den tunge vejtransport. Øvrig tung vejtransport samt skibs- og flytrafik antages dækket med biobrændstoffer og electrofuels.

Bygninger: COMBO-scenariet indeholder fortsat en del bygninger, der opvarmes ved biomasse og PtX. I det Ambitiøse elektrificeringsscenarie antages tilige en væsentlig del af disse bygninger opvarmet med varmepumper.

Industri: Hovedantagelsen er, at varmepumper frem mod 2030 og 2050 kan finde betydelig udbredelse til lavtemperatur (< 100°C) og mellemtemperatur (<300°C) procesformål. Denne antagelse er bl.a. baseret på arbejde om højtemperaturvarmepumper beskrevet af DTU, Teknologisk Institut og Sintef.

3. Elektrificeringsscenarier i EU-lande

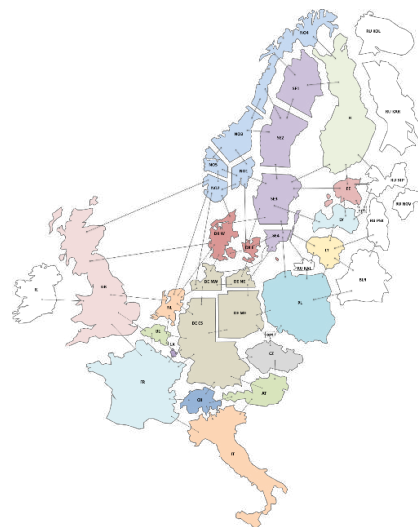
I begge hovedscenarier sker der en markant udvikling i elforbruget i modelområdet. Det ses i Figur 2, at elforbruget ca. fordobles fra 2015 til 2050 i begge scenarier. I det ambitiøse scenarie går en større del af elforbruget til direkte el frem for indirekte el (PtX), samtidig med at der fortrænges yderligere fossile brændsler i alle sektorer. Derfor er elforbruget samlet set større i det ambitiøse scenarie, på trods af at elektriciteten udnyttes mere effektivt, især gennem større udbredelse af varmepumper.



Figur 2: Udvikling i elforbruget i Europa (landene i modelområdet) i referencen (COMBO, venstre) samt i Ambitiøs elektrificering (højre).

Med den store forøgelse i elforbrug og en gradvis udfasning af de eksisterende elproduktionsanlæg kræves i begge scenarier en hurtig og markant udbygning af CO₂-neutral elproduktion.

Investeringer i både elproduktions- og transmissionskapacitet samt udfasning af eksisterende værker analyseres i el- og varme-markedsmodellen Balmorel. Modellen skal tilfredsstillende det beregnede behov for el- og fjernvarme til enhver tid. Baseret på brændselspriser, CO₂-priser samt et katalog af tilgængelige teknologier⁴, udbygger modellen herefter hele energiforsyningen successivt, inklusive investeringer i det overordnede eltransmissionsnet.



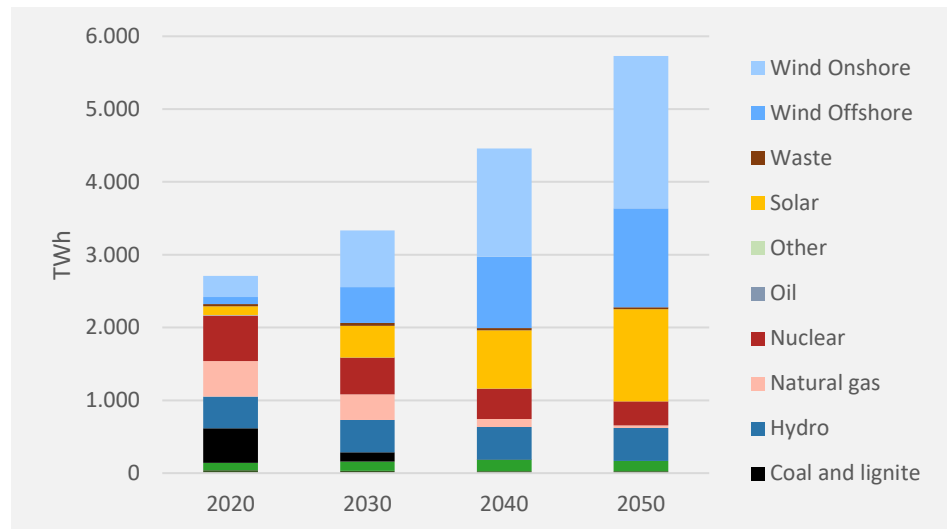
I modellen er brændsels- og CO₂-priser en væsentlig drivkraft for den grønne omstilling i energisektoren. I praksis er det sandsynligt, at de enkelte lande supplerer med nationale tiltag, hvilket naturligvis vil påvirke både CO₂ pris og produktionssammensætning og dermed elpriserne. Fx indgår biomasse med en omkostningsbaseret prisfremskrivning, der ikke indeholder prisfølger af eventuelle særlige bæredygtighedskrav.

De enkelte landes VE handlingsplaner samt el-systemansvarenes netplaner (Ten-Year Net Development Plan) indgår som grundlag frem mod 2030, hvorefter videre udbygning udelukkende sker på basis af den samlede modeloptimering.

Output fra modellen er elproduktionens sammensætning i hvert enkelt prisområde, driftsdata for grupper af teknologier i hvert prisområde (herunder fluktuationer i vind og sol), CO₂-emissioner, elpriser mm.

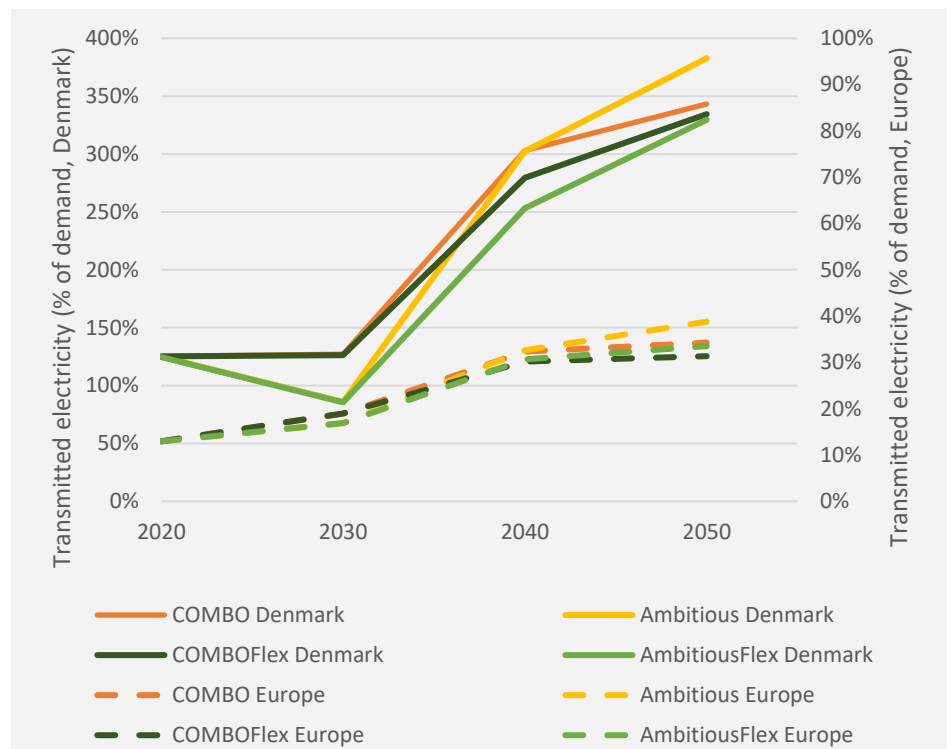
Hele elsektoren ændrer markant struktur i scenarierne frem mod 2050. Som eksempel viser Figur 3 udviklingen i det ambitiøse elektrificeringsscenario. Andelen af vind og sol udgør i 2050 mere end 80% af elproduktionen, hvilket stiller meget store krav til transmission, ellagring og fleksibilitet. I den sammenhæng er det vigtigt at forstå, at der allerede i udgangspunktet er meget betydelige indirekte ellagringsmuligheder i den eksisterende vandkraft i Norden og i Alpe-egnene. Endvidere forudsætter udviklingen af landvind og sol, at acceptable arealer hertil kan findes. Tilgængeligt areal er baseret på nationale statistikker over landbrugsareal i kombination med vindressourcedata.

⁴ Brændsels- og CO₂-priser er baseret på IEA World Energy Outlook samt EU kommissionens scenarierapport. Teknologikatoget er primært baseret på seneste teknologikatalog udgivet af Energistyrelsen og Energinet inkl. opdateringer (2018).



Figur 3: Elproduktion i Europa (landene i modelområdet) i det ambitiøse scenarie.

På grund af store variationer mellem landene med hensyn til vind- og solresourcer, på grund af forskelle i lagringsmuligheder, og fordi der kan være betydelige, regionale tidsforskydninger i vindens energiindhold, bliver der i stigende grad økonomi i at kunne transportere strøm, på trods af omkostningerne til ny eltransmission. Figur 4 viser forholdet mellem transmitteret el over landegrænser og elforbrug i de scenarier, der er regnet på. Det ses, at andelen af el, der flyttes, tredobles i perioden (hele modelområdet). Da elforbruget samtidig fordobles, er der reelt tale om en seksdobling af transmitteret el.



Figur 4: Forholdet mellem transmitteret el og elforbrug. For Danmark er angivet forholdet mellem internationalt transmissionsflow (ind/ud af Danmark) og nationalt elforbrug.

Da Danmark er et relativt lille land, der samtidig fungerer som transitland til de store vandkraftlagre i Norge og Sverige, har Danmark som udgangspunkt en høj transmissionsandel. Alligevel fordobles denne andel mod 2050. Da elforbruget i Danmark tredobles i perioden, er der tale om en seksdobling af transmitteret el, herunder el i transit.

Økonomien i scenarierne, herunder af fleksibilitet og ny transmission, uddybes i det følgende med fokus på Danmark.

4. Elektrificeringsscenarier for Danmark

Som en del af det samlede modelområde er der også for Danmark analyseret to hovedscenarier og to varianter, i alt fire scenarier:

1. COMBO
2. Ambitiøs elektrificering
3. COMBO-flex
4. Ambitiøs-flex

I de to flex-varianter øges forbrugsfleksibiliteten i alle sektorer, og konsekvenserne for hele energisektoren og for økonomien analyseres.

Det har været et særligt mål, at projektets scenarieanalyser har relevans til de eksisterende energipolitiske målsætninger for Danmark,

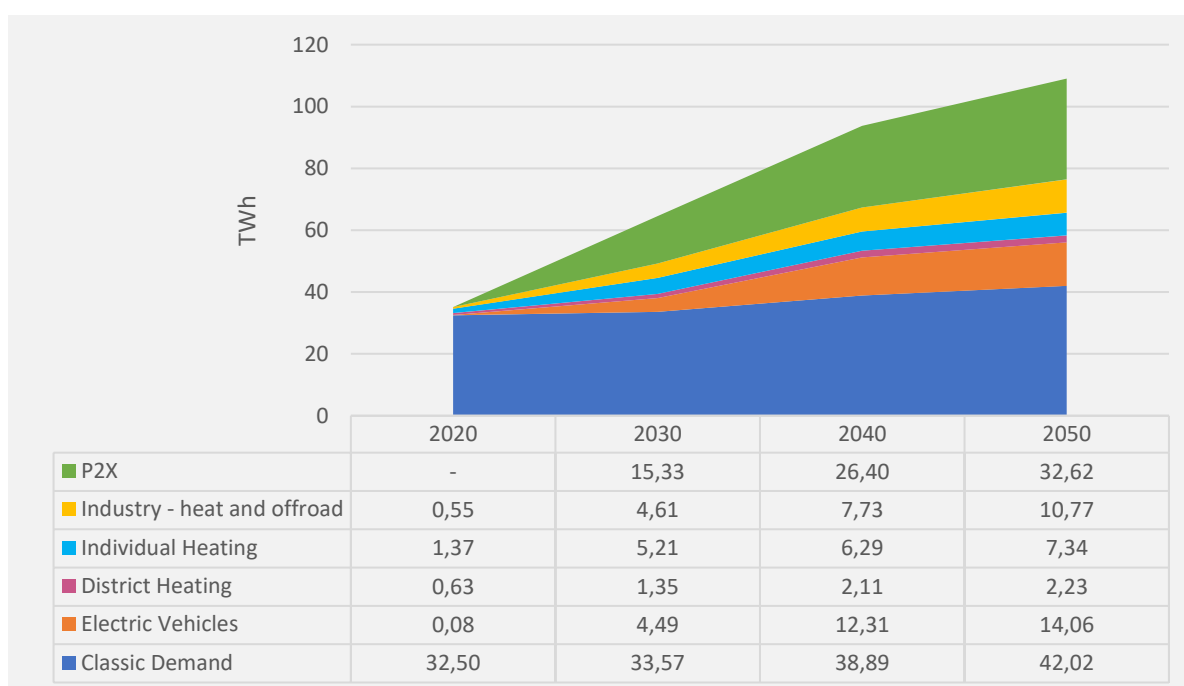
herunder især:

- I. **Udfasning af kul på kraftværkerne før 2030.** Dette er håndteret ved et forbud mod videre drift på eksisterende kulfyrede værker i 2030. Forbuddet gælder alle scenarier, da det indgår i Energiaftalen fra 2018.
- II. **Reduktion af CO₂-e med 70% i 2030 sammenlignet med 1990.** 70%-målet opfyldes kun i Ambitiøs elektrificering og Ambitiøs-Flex scenarierne. Det antages her, at den ambitiøse elektrificering i alle sektorer i kombination med betydelig udbygning af elektrofuels er nødvendige og tilstrækkelige virkemidler inden for de sektorer, der regnes på⁵. Referencescenariet (COMBO) er tolket sådan, at det med hensyn til elbiler og varmepumper er mere ambitiøst end Energistyrelsens Basisfremskrivning 2019 (BF19) frem til 2030. For at undgå, at modellen opfylder 70%-målet gennem udstrakt brug af elimport, er der indlagt et krav om, at Danmark skal være selvforsynende med el på årsbasis.
- III. **Netto-nul emission i 2050.** Der anvendes ikke fossile brændsler i noget scenarie i 2050 – samme klimamål. Den største forskel mellem COMBO og Ambitiøs elektrificering i Danmark er forholdet mellem direkte elektrificering og indirekte elektrificering.

⁵ Det skal i denne sammenhæng pointeres, at de sektorer, der er omfattet af Danmarks nye klimalov, men som ikke indgår i scenarieanalyserne, er landbrug, andre klimagasser end CO₂ samt LULUCF. Derimod er international luftfart omfattet, hvilket ikke indgår i klimaloven. Endvidere vurderes det, at carbon capture and storage (CCS) er nødvendigt for at nå 70%-målet. CCS indgår implicit i analyserne gennem betaling for køb af CO₂ fra CCS-anlæg til PtX produktion.

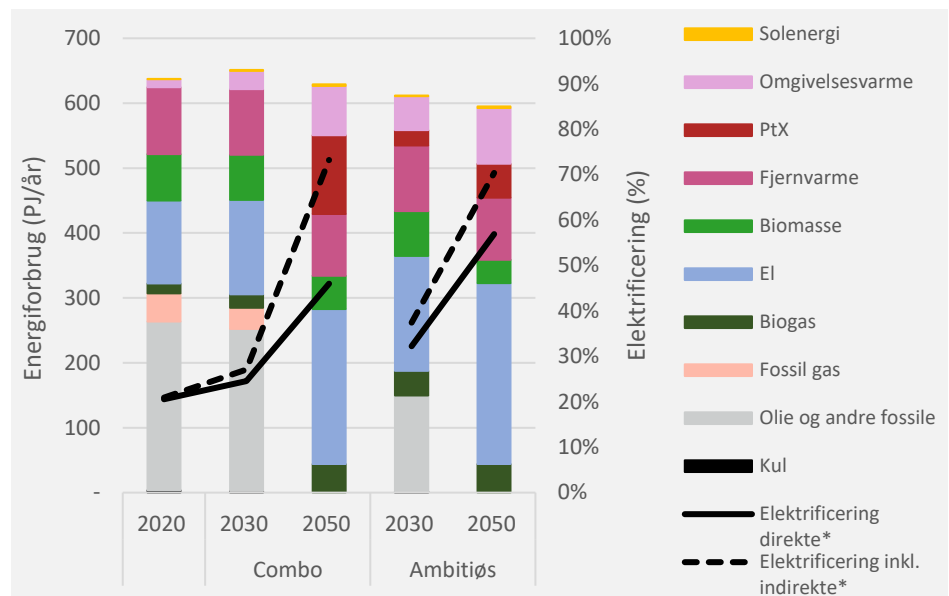
Scenarieresultaterne gennemgås nedenfor. En mere detaljeret gennemgang af forudsætninger og resultater for de fire scenarier findes i en særskilt baggrundsrapport om scenarieanalyserne.

I scenariet Ambitiøs elektrificering øges elforbruget i Danmark med ca. 55% frem mod 2030, og der sker yderligere en fordobling af elforbruget mod 2050. Det øgede elforbrug er nogenlunde ligeligt fordelt mellem direkte og indirekte elektrificering (se Figur 5). I referencen nås et lidt højere samlet elforbrug i 2050, men med en væsentlig større andel PtX, hvilket er mere i tråd med EU-kommissionens scenarier.



Figur 5: Elforbrugsudvikling for Danmark fra 2020 til 2050 i scenariet Ambitiøs elektrificering.

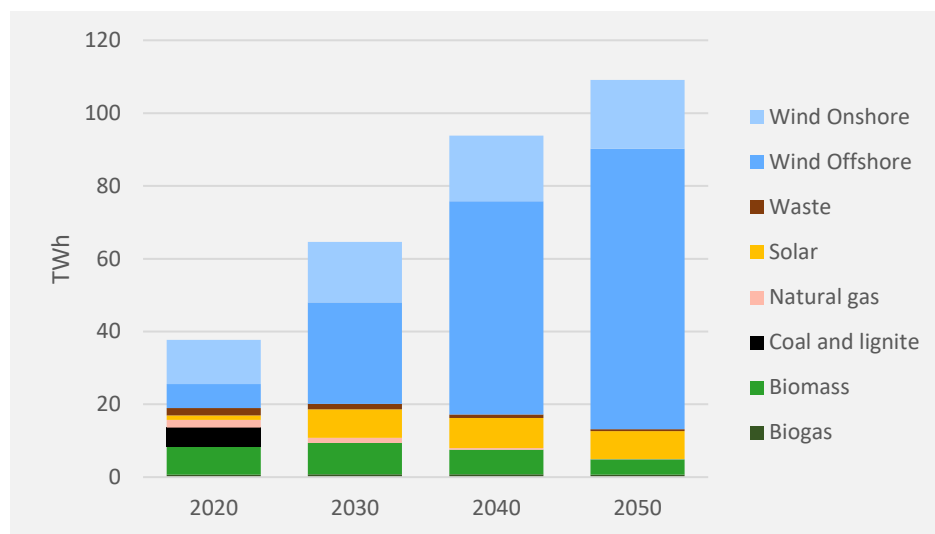
Elektrificeringsgraden i Danmark bliver lavere end for EU som helhed. Da Danmark har en stor andel fjernvarme, bliver det endelige energiforbrug til bygninger, der ikke bliver opvarmet direkte med el, relativt større end i resten af EU.



Figur 6: Samlet endeligt energiforbrug i Danmark i analysens to hovedscenarier samt direkte og indirekte elektrificeringsgrad (*Aflæses på højre akse).

Ligesom i Europa som helhed ændrer også elproduktionen i Danmark markant karakter. Fra en vindkraftandel på knap 50% i 2020 viser modellen, at op imod 90% af elproduktionen i Danmark i 2050 kan være vind, heraf især offshore-vind⁶. Den samlede produktion af vind- og sol-el femdobles fra perioden 2020 til 2050. Sol får relativt en markant mindre rolle i Danmark end i andre europæiske lande, fordi danske producenter af solstrøm i stigende grad udkonkurreres af anlæg med flere solskinstimer i den sydlige del af Europa. Der udvikler sig således en international arbejdsdeling, efterhånden som infrastrukturen udbygges, hvor vindkraft bl.a. koncentrerer omkring Danmark, imens sol er mere konkurrencedygtigt længere sydpå.

⁶ Offshore vind har bl.a. en stor andel på grund af indlagt modelbegrænsning i tilgængelighed af arealer til onshore vind i Danmark og andre lande.



Figur 7: Elproduktion i Danmark i det ambitiøse scenarie.

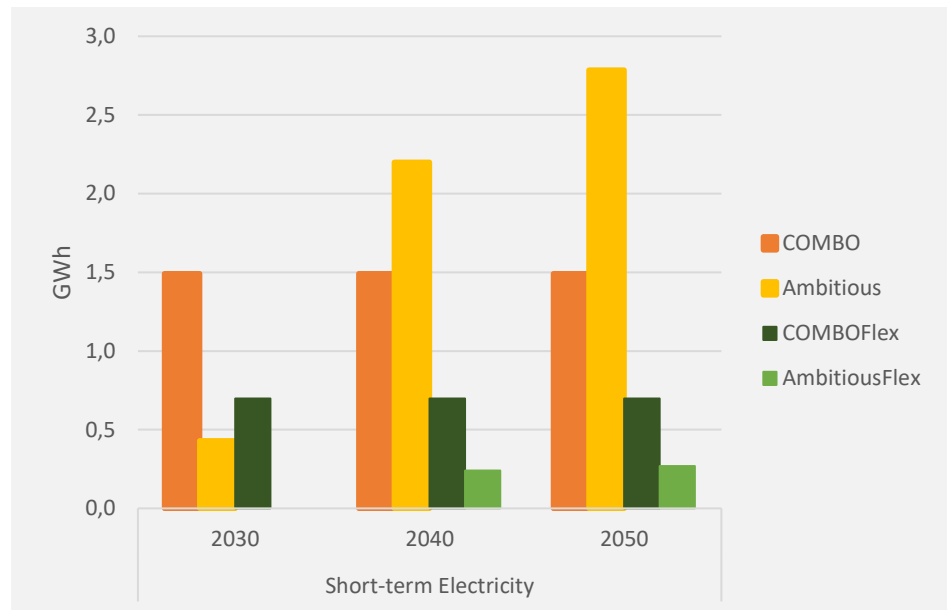
Som tidligere nævnt viser analyserne, at elsystemet samlet set får stigende behov for fleksibilitet i forbruget og behov for lagringsmuligheder.

4.1. Lagring og fleksibilitet – Flex scenarier

For at undersøge værdien af fleksibelt elforbrug er der i scenarierne COMBO-flex og Ambitiøs-Flex indlagt øgede fleksibilitetsmuligheder:

- For individuel opvarmning antages det i grundscenarierne, at der kan være to timers forskydning mellem varmebehov og varmeforsyning (termisk lager i bygninger). Dette er øget til 6 timer i Flex-scenarierne.
- I industri er der ingen fleksibilitet i grundscenarierne. I Flex-scenarierne er der op til fire timers forskydning (varmelager).
- I transportsektoren kan 20% af elbilerne udskyde opladning i op til to timer. I Flex-scenarierne stiger fleksibiliteten til 90% af elbil-flåden i 2050, og opladning kan forskydes op til 6 timer.
- I alle scenarier er der fleksibilitet ved PtX-produktion, idet modellen kan vælge at investere i øget elektrolysekapacitet og brintlagre for at udnytte perioder med lave elpriser.

I nedenstående figur ses udbygningen med ellagerkapacitet i Danmark i hovedscenarierne og i flex-varianterne. Der er her tale om korttidslagre, dvs. batteriteknologier. I COMBO-scenariet udbygges med knap 1,5 GWh lagerkapacitet, og kapaciteten fastholdes på dette niveau frem mod 2050. I det ambitiøse scenarie sker der en væsentlig forøgelse af kapaciteten fra 2030 til 2050, så denne øges til over 2,5 GWh. I de to scenarier med øget forbrugsfleksibilitet reduceres behovet for ellagre væsentligt, hvilket sænker de samlede elomkostninger.

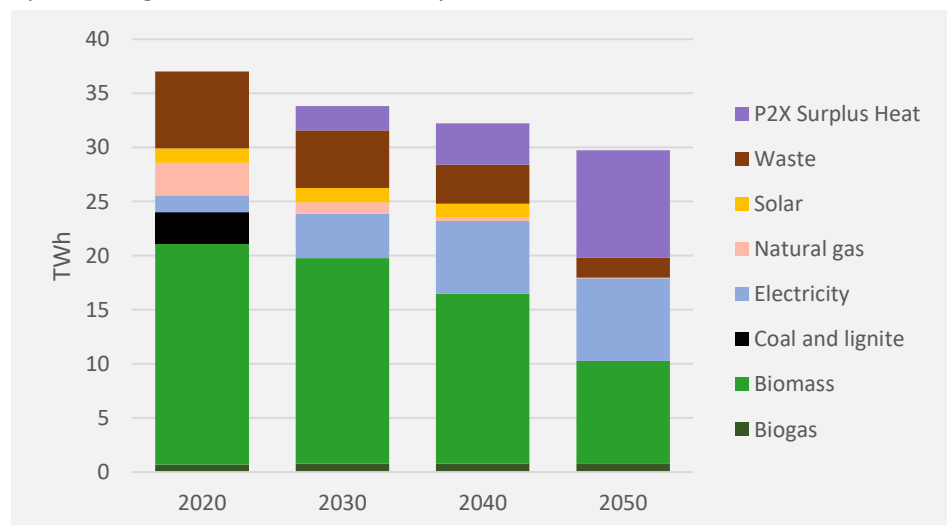


Figur 8: Akkumuleret udbygning af el-lagerkapacitet i Danmark.

4.2. Fjernvarme

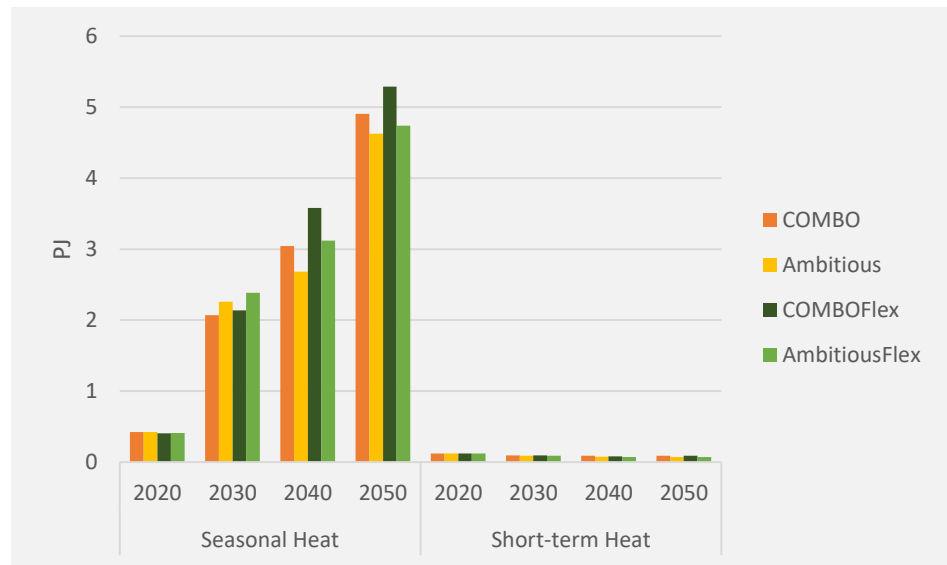
Produktion af fjernvarme ændrer markant karakter i alle scenarier. Fra dagens varmeproduktionsanlæg baseret især på biomasse, affald og fossile brændsler, baseres fremtidens fjernvarmeproduktion primært på varmepumper og overskudsvarme fra PtX-produktion. Overskudsvarme fra PtX vinder dog først indpas frem mod 2040 og 2050.

Den samlede fjernvarmeproduktion reduceres over tid på grund af stigende effektivitet i bygningsmassen. Fjernvarmens andel af den samlede bygningsopvarmning er holdt uændret i analysen.



Figur 9: Varmeproduktion i fjernvarmen i Danmark i det ambitiøse scenarie.

For at spille effektivt sammen med produktionsvariationerne i elsektoren (over 90% af dansk elproduktion er vind og sol i 2050) investeres der markant i varmelagerkapacitet i fjernvarmesektoren. Nedenstående figur viser udbygningen med korttids- og sæsonvarmelagre (damvarmelagre). Der sker en meget markant udbygning med sæsonvarmelagre frem mod 2050 i alle scenarier, særligt i de ambitiøse scenarier hvor elpriserne har større sæsonudsving.

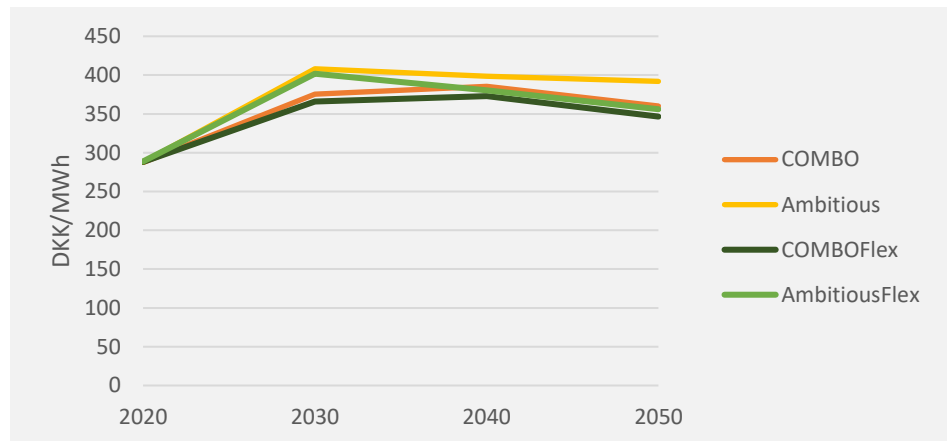


Figur 10: Installeret varmelagerkapacitet i Danmark.

4.3. Elprisens udvikling

Elpriserne afspejler til enhver tid de marginale omkostninger ved elproduktion og indeholder også omkostninger til udbygningen af transmissionsinfrastruktur og til lagringsteknologier. Elprisen stiger fra 2020 til 2030 som følge af det forøgede elforbrug og den markante stigning i CO₂-prisen⁷. Elpriserne i Danmark og det øvrige Norden vil dog vedvarende være lavere end den gennemsnitlige europæiske pris, hvilket især hænger sammen med en høj andel vandkraft og gode vindressourcer. Der er en tydelig tendens til, at øget forbrugsfleksibilitet giver lavere gennemsnitlige elpriser.

⁷ Det er i modellen forudsat, at høje CO₂-priser driver investeringer i grøn teknologi. I praksis er det sandsynligvis en kombination af mange forskellige tiltag.



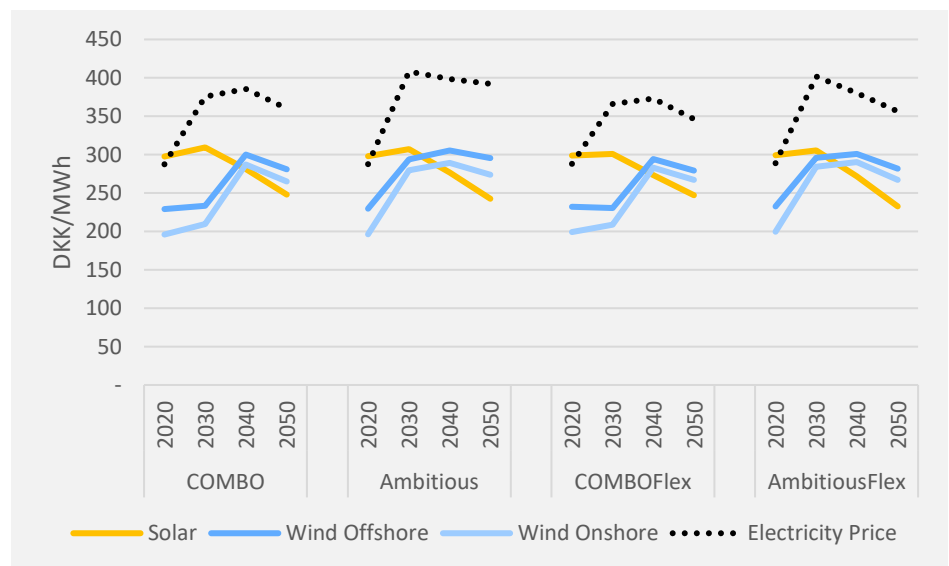
Figur 11: Gennemsnitlige elpriser i Danmark på tværs af scenarier.

Analyserne viser også, at der er en stigende tendens til sæsonvariation i elprismønstret især efter 2030 med lavere priser om sommeren og højere priser om vinteren. Dette skyldes øget elforbrug til varme samt øget betydning af solstrøm.

4.4. Afregningspriser

Sol og vind

Figuren nedenfor viser afregningspriser for sol og vind i Danmark. Der ses nogenlunde samme tendens i det øvrige Europa. I de ambitiøse elektrificerings-scenarier øges vindafregningspriserne hurtigt mod 2030. COMBO og COMBOFlex sker denne stigning først mellem 2030 og 2040.

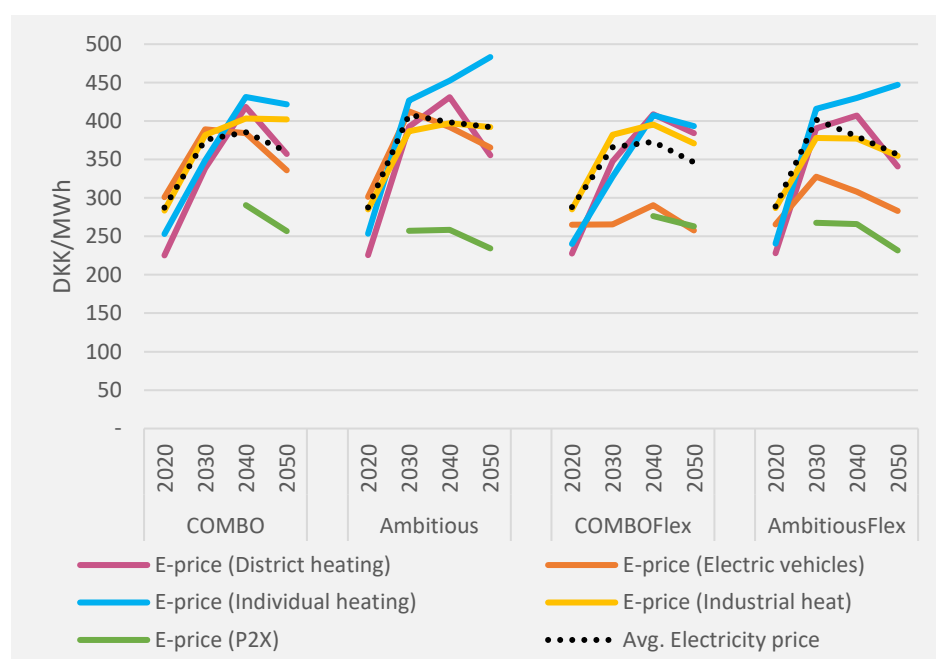


Figur 12: Gennemsnitlige afregningspriser for vind- og solbaseret elproduktion i Danmark.

Omvendt ses det, at afregningsprisen for solstrøm falder efter 2030, på grund af den stigende konkurrence fra solceller, der installeres syd for Danmark i kombination med udbygningen af transmissionsforbindelserne.

Afregningspriser for forbrugskategorier

I nedenstående figur ses de gennemsnitlige afregningspriser for forskellige forbrugskategorier. Det ses, at alle de nye forbrugskategorier generelt afregnes til lavere elpriser end de gennemsnitlige elforbrug frem til efter 2030. PtX afregnes til væsentligt lavere priser, da modellen vælger at investere i øget elektrolysekapacitet for at kunne udnytte de lave elpriser.



Figur 13: Gennemsnitlige afregningspriser i Danmark for elektricitet opdelt på forbrugstyper.

Udledning af CO₂ og andre drivhusgasser

70%-målsætningen betyder, at den samlede drivhusemission i Danmark skal reduceres til 21,1 mio. ton CO₂-ækvivalenter, når LULUCF ikke regnes med. Der antages her et reduktionsbidrag fra andre sektorer (landbrug og øvrige⁸) på ca. 3 mio. ton, så disse sektorer får en samlet udledning på 12 mio. ton i 2030. Dermed kan de energirelaterede emissioner maksimalt udgøre 9,1 mio. ton, såfremt målsætningen skal nås.

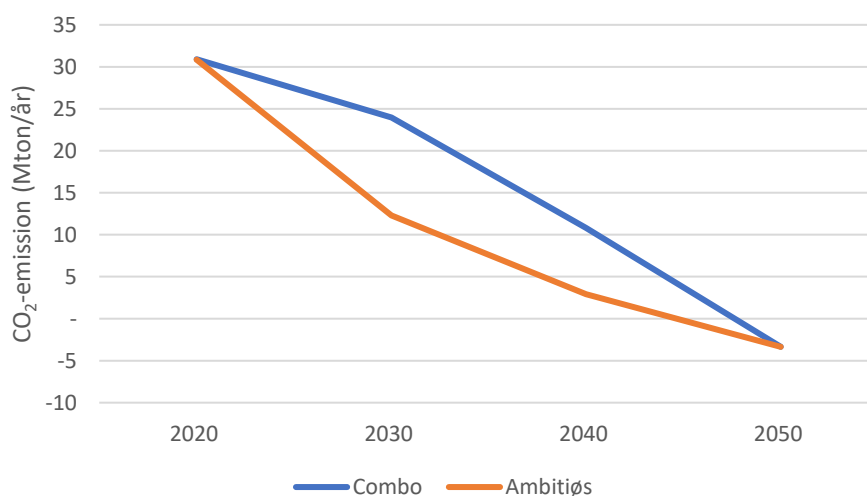
⁸ Inkluderer udover kategorien *øvrige* i basisfremskrivningen også andre bidrag relateret til grænsehandel samt flygtige- og indirekte emissioner.

	Udledning i 2030 (mio. ton CO ₂ -e)
Udledning ifølge 70%	21,1
Udledning andre sektorer (landbrug, øvrige)	12,0
Udledning energirelateret	9,1

Tabel 2: Sammensætning af CO₂-e emission i 2030, såfremt 70%-målsætningen skal opfyldes.

Opnåelse af 70%-målsætningen kræver, udover de direkte energirelaterede tiltag, også et bidrag fra eksempelvis CCS. Dette niveau forudsættes fastholdt i det ambitiøse scenarie efter 2030. I 2050 vil fossilt energiforbrug være fuldt udfaset, og CCS kan således bidrage til at neutralisere emissioner i andre sektorer, der vanskeligt kan udfases, herunder i landbruget.

Mod 2050 forudsættes klimaneutralitet i både COMBO og det ambitiøse scenarie, og til forskel fra 2030-målsætningen antages dette mål også at omfatte energiforbrug til international luftfart. Som nævnt ovenfor, fastholdes CCS-bidraget efter 2030 i det ambitiøse scenarie. I COMBO-scenariet indfases CCS efter 2030, således at de to scenarier opnår samme CO₂-emission i 2050.

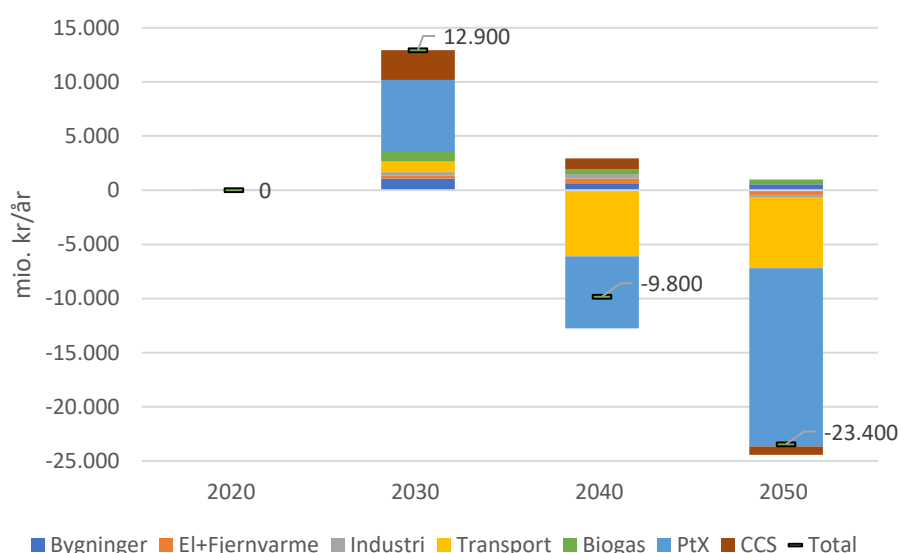


Figur 14: Samlet energirelateret CO₂-emission mod 2050 i de to scenarier. I denne opgørelse er emissioner fra udenrigsluftfart også inkluderet for at kunne sammenligne den samlede emission frem mod 2050. Uden emissionen fra udenrigsluftfart er emissionen i 2030 i det ambitiøse scenarie 9,1 mio. tons.

5. Elektrificering og økonomi

Mod 2030 viser det ambitiøse scenarie en samfundsøkonomisk meromkostning ift. COMBO-scenariet stigende til knap 13 mia. kr./år, hvoraf hoveddelen kan tilskrives det højere niveau af produktion og forbrug af elektrofuels for at nå 70%-målsætningen (Figur 15). Allerede få år efter 2030 er meromkostningen vendt til en besparelse sammenlignet med COMBO-scenariet. Omkring 2040 er besparelsen ca. 10 mia. kr./år, stigende til ca. 23 mia. kr. årligt i 2050.

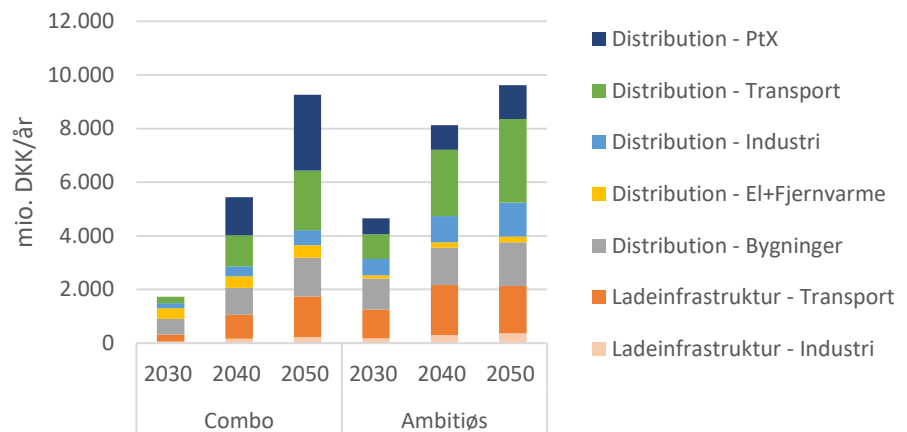
De massive besparelser på langt sigt skyldes især lavere forbrug af elektrofuels, en mere omkostningseffektiv transportsektor på grund af den højere elektrificering, samt en mere omkostningseffektiv industrisektor igen på grund af øget elektrificering.



Figur 15: Samfundsøkonomisk méromkostning for Danmark (positiv = meromkostning, negativ = besparelse) i det ambitiøse scenarie ift. COMBO-scenariet.

Omkostninger til udbygning af elinfrastruktur (ekskl. transmission og energilagring) i scenarierne ses i Figur 16. Det skal dog understreges, at distributionsinfrastrukturomkostninger er baseret på generaliserede antagelser om omkostninger ved øget elforbrug inden for forskellige forbrugskategorier. Der er ikke her taget hensyn til evt. ledig transportkapacitet i det eksisterende elnet, der kan mindske behovet for netforstærkninger.

Infrastrukturomkostningerne indgår implicit i de enkelte forbrugskategorier i ovenstående Figur 15.



Figur 16: Årlige omkostninger til elnet og ladeinfrastruktur i mio. kr./år. Ladeinfrastruktur gælder transportrelateret energiforbrug, dvs. opladning til køretøjer til vejtransport (transportsektor) og opladning til køretøjer til intern transport i landbrug, bygge- anlæg og industrien (industri sektor).

De beregnede meromkostninger for el-infrastruktur på ca. 3,5 mia. kr i 2030 i det ambitiøse scenarie (ekskl. ladere til elbiler) svarer til 12 øre pr. kWh merforbrug af elektricitet. Mod 2050 falder den marginale el-infrastruktur omkostning til ca. 10 øre/kWh. Det betyder, at de gennemsnitlige infrastruktur-omkostninger (nettariffer) målt pr. forbrugt kWh elektricitet i alle sektorer, bliver væsentligt lavere mod 2050 end i dag.

6. Konklusioner og elementer til en roadmap

Fokus i dette arbejde har været elektrificering. Andre bidrag til at nå ambitiøse klimamål som CO₂-lagring, tiltag i andre sektorer samt ændrede forbrugsmønstre etc. er ikke analyseret. Det er en forudsætning for systemanalyserne mod 2030 og 2050, at der foretages betydelige energibesparelser. Elektrificeringen bidrager i sig selv, gennem høje virkningsgrader, til energieffektivisering.

Analyserne viser samlet set, at varmepumper, elkøretøjer og elkedler som hovedregel kan levere samfundsøkonomisk konkurrencedygtige energitjenester og ofte markant billigere elektrificering end elektrofuels. Det skyldes primært, at produktion af elektrofuels medfører et energitab på op til 50% sammenlignet med fx en varmepumpe med en energieffektivitet på 300%⁹. En del af energitabet ved produktion af elektrofuels kan dog nyttiggøres som fjernvarme ved en sammenhængende fysisk planlægning.

Fordelen ved elektrofuels, især direkte brint med billig lagring, er, at produktionen kan være fleksibel og koncentreret i de timer, hvor der er stor elproduktion fra vind og sol. Denne fordel er dog afhængig af, om investeringsomkostninger til elektrolyseanlæg reduceres betydeligt over de kommende årtier.

Analyserne viser, at den grønne omstilling i elsektoren med et vind- og soldomineret elsystem og udfasning af termiske kraftværker i kombination med stærkt øget elforbrug fra den gennemgribende elektrificering af samfundet, medfører tre betydelige udfordringer omkring elinfrastrukturen, der skal løses:

- Der opstår et markant stigende behov for eltransmission til ilandføring af havmøllestrøm og til udveksling af elektricitet mellem landene. Behovet opstår for at sikre forsyningen i alle områder i de perioder, hvor solen ikke skinner og vinden ikke blæser, for at nyttiggøre elproduktionen, når der er lokalt VE-overskud, og endelig for effektivt at udnytte de lagringsmuligheder, der findes i de store vandkraftområder i Norden og i andre bjergrige områder. Mængden af elektricitet, der flyttes mellem landene, flerdobles sammenlignet med i dag.
- Der opstår herudover behov for øget fleksibilitet i elsystemet både i det overordnede net og lokalt. Dette behov kan dækkes både i form af forbrugsfleksibilitet og nye ellagringsmuligheder. På grund af det

⁹ Det betyder i nogle tilfælde, at bruttoenergiforbruget til levering af termiske energitjenester kan reduceres med en faktor seks ved omlægning til varmepumpeteknologi fremfor til elektrofuels.

øgede elforbrug til rumvarme om vinteren og den stigende afhængighed af elproduktion fra sol, vil der være tydelig og stigende sæsonvariation i elpriserne, især i Nordeuropa. Dette hænger også sammen med, at bl.a. fjernvarmen går fra at være nettoproducent af el (kraftvarme) til at blive nettoforbruger af el (varmepumper og elkedler).

- Endelig opstår der behov for udbygning af den lokale el-infrastruktur, herunder etablering og forsyning af ladeinfrastruktur til mere end to millioner elbiler i Danmark mod 2050, og over hundrede millioner elbiler i Europa som helhed.

6.1. Barrierer og udfordringer

En proces for gennemgribende elektrificering (sektorkobling) vurderes helt nødvendig for at nå klimamålene i Danmark i 2030, og i hele EU mod 2050. De teknologier, der skal i spil, er langt hen ad vejen allerede kendte og markedsførte, men ventes fortsat billiggjort.

Der er betydeligt behov for demonstration, opskalering og billiggørelse af elektrofuels i form af brint, ammoniak, metan og flydende kulbrinter, hvis elektrofuels skal få den nødvendige og ventede udbredelse.

Hertil kommer, at elektrificering i industrisektoren delvist er afhængig af udvikling og demonstration af store varmepumper, der kan levere varme ved mere end 200°C med god effektivitet, især efter 2030.

Udfordringer for øget VE i elsystemet

En hurtig og betydelig udbygning med VE – især vind og sol – er en grundforudsætning for, at elektrificering i Danmark og EU leverer den beregnede CO₂-reduktion. Sol og vind har leveret markante prisfald de senere år, i form af learning rates for sol på ca. 20% og vind på 10%-15%, højest for havvind. Der er dog stadig udfordringer, der skal løses, hvis udviklingen skal fortsætte med den nødvendige hastighed:

- Vind- og sol er langsigtede investeringer, der kræver god forudsigelighed af markedsrammer og af afsætningspriser. I denne sammenhæng har især tillid til infrastrukturudbygning, åbne grænser samt et stabilt CO₂-kvotemarked betydning.
- Forudsigelige udbuds- og godkendelsesprocesser.
- Tro på udvikling af ellagring- og forbrugsfleksibilitet, der medvirker til at give højere værdi af elproduktionen ved gode vindforhold.

Udfordringer for elektrificering af forbrugssiden

Det er en helt generel erfaring fra litteraturstudiet og fra case-studierne, at aktørerne kun vælger at elektrificere sit energiforbrug, hvis der er forventning om, at elektrificering give en lavere energiregning end alternativerne. Hertil kommer, men sekundært, at elektrificeringen kan løse lokale miljøproblemer og styrke en grøn profil.

Teknologiudviklingen mht. elbiler og elbilbatterier giver håb om, at en stor del af landtransporten om få år reelt kan tilbyde billigere transportarbejde end traditionelle køretøjer. Det er dog under forudsætning af en beskatnings- og afgiftspolitik, der afspejler de faktiske omkostninger, hvilket ikke er tilfældet i dag, bl.a. i Danmark.

Endvidere er der udfordringer ved etablering af den nødvendige ladeinfrastruktur i tilstrækkeligt højt tempo. Det gælder især forbrugere, der helt eller delvist er afhængige af hurtigladning på offentligt tilgængelige pladser.

Varmepumper i såvel husstande, fjernvarmesektoren og i industrien kan i dag ikke konkurrere med traditionelle, naturgasbaserede løsninger til varmeproduktion. Eksisterende energi- og CO₂-afgifter på naturgas ændrer dog billedet, så varmepumper efter udfasning af PSO-tariffen og sænkelse af elvarmeafgiften i nogle tilfælde er privatøkonomisk attraktiv. I fjernvarmesektoren er det dog fortsat en barriere, at investeringen skal godkendes i henhold til Projektbekendtgørelsen, hvor afgifter ikke indregnes. Det giver betydelige udfordringer for elektrificeringen her.

I fjernvarmesektoren og i industri og erhverv er der endvidere bekymring for elprisudviklingen. Der er nogen usikkerhed om den langsigtede elprisudvikling og derfor også tilbageholdenhed med større investeringer, der gør værket/industrien 100% afhængig af el. Hertil kommer spørgsmålet om forsyningsikkerhed. Også tilslutning til elnettet beskrives som en udfordring i nogle projekter. Her nævnes såvel omkostningsniveau som projekttid.

En anden udfordring i industrisektoren – og delvis i den private sektor – er, at der arbejdes med korte tilbagebetalingstider. Investeringer i varmepumper kræver ofte tilbagebetalingstider på 10-20 år for at være rentable.

Endelig vurderes slutkundemarkedet at være omfattet af træghed. Erfaringer viser, at der sandsynligvis skal meget betydelige incitamenter til, for at

forbrugere vælger at skifte fra traditionelle biler til elbiler, eller fra olie- og gasopvarmning til varmepumper eller fjernvarme over en kortere årrække.

For elektrofuels er den afgørende udfordring omkostningsniveauet. Beregninger viser, at diesellignende elektrofuels kan produceres og bulk-afsættes til 10-14 kr./liter dieselækvivalent. Omkostningen er lavere, når der er tale om metan, metanol eller brint. Dette kan for mange forbrugere (industri, skibsfart, luftfart) sammenlignes direkte med en naturgaspris på ca. 1 kr./liter dieselækvivalent (februar 2020) eller diesel og flybrændstof til ca. 3 – 4 kr./liter.

6.2. Virkemiddelkataloger for øget elektrificering

Økonomiberegninger viser, at omkostningerne for Danmark ved at nå målsætningen om 70% reduktion af klimagasser i 2030 samlet set er betydelig, og sandsynligvis stigende til mere end 10 mia. kr. om året i 2030 – sammenlignet med referencescenariet, der i store træk følger samme udvikling som Basisfremskrivningen BF19¹⁰. Til gengæld giver målopfyldelsen i 2030 et godt afsæt til målet om netto-nul emission i 2050. Resultaterne fra denne analyse viser, at såvel direkte som indirekte elektrificering skal i spil for at nå målet, samt at stort fokus på energieffektiv direkte elektrificering giver en årlig samfundsøkonomisk besparelse på godt 20 mia. kr/år omkring 2050 sammenlignet med EU-scenarierne, hvor PtX spiller en større rolle.

Som nævnt er der dog en række udfordringer ved at gennemføre den ønskede elektrificering, og det er nødvendigt at bringe en bred vifte af virkemidler i spil for at fremme elektrificeringen. I projektet er der derfor opstillet nedenstående virkemiddelkataloger til inspiration for beslutningstagere. Virkemidlerne tilsammen vil ikke nødvendigvis resultere i, at Danmark opnår 70% målsætningen, men de ses som vigtige og nødvendige skridt i den rigtige retning.

Individuel rumvarme

Det har stor betydning, at en væsentlig del af de resterende ca. 500.000 danske boliger, der er olie- og gasfyrede, omstilles til fjernvarme eller til eldrevne eller hybridvarmepumper. Størstedelen af disse boliger er parcelhuse eller andre fritliggende boliger. Erfaringer viser, at der er stor træghed hos den enkelte for at omstille, så en kombination af flere forskellige virkemidler er sandsynligvis nødvendig.

¹⁰ Ekskl. omkostninger til reduktion af landbrugets emissioner, til visse industrigasser og til LULUCF.

Virkemiddelkatalog – individuel rumvarme

Virkemidlerne kan inddeles i:

Økonomiske virkemidler: Høje CO₂-afgifter, tilskud, lånegarantier, skrotningspræmie for gasfyr.

Nudging: Ændre forbrugernes handlemønstre ved målrettet kontakt, oplysning og vejledning

Forbud/påbud: Forbud mod nye gasfyr, udløbsdato for eksisterende gasfyr, tilslutningspligt til anden forsyning.

Herunder vurderes følgende særligt relevante:

Økonomiske virkemidler

Helt eller delvist bortfald af gasselskabernes afkoblingsbidrag på ca. 8.000 kr./forbruger, fx som afkoblingstilskud.

Yderligere sænkning af elvarmeafgiften.

Øge afgift på fossile brændsler betydeligt, svarende til den marginale omkostning ved at nå 70% målsætningen (Dette vurderes højere end 2.000 kr./ton CO₂).

Målrette Bolig-Job-ordningen mod konverteringer til varmepumper og fjernvarme.

Finansieringsordning for varmepumper.

Omkostningsægte eltariffer, der honorerer fleksibilitet.

Storindkøb af varmepumper kan reducere investeringsomkostningen og dermed gøre varmepumperne billigere.

Nudging

Krav om at varmepumpe eller fjernvarme skal overvejes ved udskifning af olie- eller gasfyr.

Udlægge krav til installatører om altid at levere varmepumpetilbud som primært tilbud ved nyinvesteringer, og sikre at installatører har de nødvendige varmepumpekompetencer.

Forbud/påbud

Tilslutningspligt, forblivelsespligt og aftagepligt (blokvarmecentraler) til naturgas udfases.

Forbud mod installation af nye gasfyr hvis varmepumper/fjernvarme kan tilbydes på rimelige vilkår.

Fjernvarme

Analyserne i denne rapport viser, at fjernvarmen kan få en vigtig rolle fremadrettet som opsamler af overskudsvarme fra PtX-anlæg, og som bidrager ved fleksibelt elforbrug bl.a. gennem etablering af store varmelagre og overgang til varmepumpeløsninger.

Investeringer i fjernvarme er bl.a. underlagt Projektbekendtgørelsen, der kræver såvel positiv samfundsøkonomi som positiv selskabs- og brugerøkonomi. Samfundsøkonomi beregnes på basis af centralt udmeldte prisforudsætninger, der ikke er i harmoni med målet om 70% reduktion af klimagasser i 2030. Det betyder, at fjernvarmeprojekter, der har god brugerøkonomi på grund af energifgifter, og som er i harmoni med det ambitiøse elektrificeringsscenarie, kan have dårlig samfundsøkonomi og derved ikke realiseres.

Virkemiddelkatalog - fjernvarme

Projektbekendtgørelsen kan ophæves eller ændres, så samfundsøkonomien reelt afspejler 70%-målet. Herunder ved at indregne et scenarie med samfundets marginale CO₂-omkostning og en lavere samfundsøkonomisk rente.

Fortsætte en tilskudsordning for etablering af store varmepumper, når eksisterende ordninger udfases, herunder Energispareordningen.

Igangsætte et egentligt demonstrations-, udbygnings- og opfølgingsprogram for store varmepumper med et mål om fx 1.000 MW i 2025.

Vejtransport generelt

Arbejdet med det ambitiøse elektrificeringsscenarie viser, at mere end 1 mio. traditionelle biler samt dele af varebilparken, lastvogne og offroad-køretøjer skal være udskiftet med el- og pluginhybridbiler for at levere et passende og balanceret bidrag til Danmarks 70% målsætning i 2030. Dette udtrykker en så radikal ændring af borgernes og virksomhedernes købs- og brugsvaner for køretøjer, at det ikke sker uden betydelige incitamenter. Dels er det nødvendigt, at elkøretøjer er betydeligt mere økonomisk attraktive end traditionelle køretøjer, dels kræver det stor tillid til, at den nødvendige ladeinfrastruktur kommer på plads.

Virkemiddelkatalog - vejtransport

Flere elbilmodeller medfører naturligt større interesse. Derfor er det om nogle år ikke nødvendigvis afgørende, at de er markant billigere – bare de er billigere.

Omlægge personbilbeskatning til et afgiftssystem, der i høj grad baseres på udledninger per kørt kilometer. Herunder lav afgift for el til elbiler.

Fremlægge en udfasningsplan for traditionelle køretøjer i forskellige sektorer, og sikre at planen er lovmedholdelig i EU.

Udarbejde en national plan for infrastrukturudbygning, der svarer til målet om ca. 1 mio. elbiler i 2030 og mere end 2 mio. elbiler i 2050.

Krav til stat og kommuner om overgang til lav-emissionskøretøjer. Dette kan evt. finansieres i en særlig aftale mellem stat og kommuner.

Krav til offentlige ladestandere om højere tilgængelighed. Fx ved økonomisk incitament der reducerer antal biler, der urimeligt optager plads uden at lade.

Sikre standardiseret (fri) roaming på alle ladestandere.

Tung transport

Væsentlige dele af den tunge transport kan med fordel elektrificeres, mens andre dele bør baseres på grønne brændstoffer/elektrofuels. Der er stor konkurrence og omkostningsbevidsthed i den kommercielle transportsektor, og det er helt afgørende, at flådeejerne ser et tydeligt og stabilt incitament for overgang til elkøretøjer eller til andre CO₂-fri brændsler.

Virkemiddelkatalog – tung transport

Arbejde for EU-krav om CO₂-reduktion for tung transport, herunder elektrificering.

Krav til kommuner om plan for elektrificering af busdrift med målepunkter i 2025 og 2030.

Tilladelse til at alle byer kan iværksætte miljøzoner, hvor kun nul-emissionsbiler over 3,5 ton har adgang.

Demonstrationsprogram for brintlastbiler/brintbusser.

Program for indfasning af mindst 1 GW elektrolysekapacitet i Danmark i 2030. Særligt program for billig og hurtig levering af ladeinfrastruktur til flådeejere.

Fly og skib

Fly- og dele af skibstransporten kan kun vanskeligt elektrificeres direkte, og sandsynligvis især efter 2030 på grund af teknologiudviklingen. Disse sektorer må derfor især ventes at være afhængige af elektrofuels, der også i 2030 forventes at være væsentligt dyrere end traditionelle brændstoffer uden afgifter. Der er stigende fokus på flytransport, og klimaudfordringerne her kan kun, ligesom den tunge transport, løses i et internationalt samarbejde.

Virkemiddelkatalog – fly og skib

Tvungen iblanding af elektrofuels på dansk, nordisk og EU-niveau.

Beskatning af brændstoffer til fly og skib på linje med brændstoffer til vejtransport. Kræver opgør med eksisterende tolkning af internationale konventioner.

Dansk initiativ og støtte til, at EU går foran med internationale regler for CO₂-iblanding i flybrændstoffer.

Demonstrationsprogram for elektrofuels – gerne i internationalt samarbejde.

Følge udviklingen i Norge vedrørende elfly på indenrigsruter

Program for elektrificering af danske færger, hvor det er muligt. Særligt for kommunalt ejede færgeruter.

Grønne udbud af statslig færgedrift, når kontrakter skal genforhandles.

Industri

Litteraturstudiet viser, at en stor del af den danske industrisektor anvender fossile brændsler til produktion af procesvarme væsentligt under 300 °C. En række analyser viser, at dele af disse industrier med fordel kan omlægge og effektivisere processerne med betydelig anvendelse af varmepumper. I nogle tilfælde kan investeringer med fordel foretages i samarbejde med det lokale fjernvarmeselskab. Der er erfaringer fra bl.a. mejerier i Danmark og andre lande. Sikker omlægning til eldrift vil i nogle tilfælde med fordel kunne gøres med backupbrændsel for at sikre mulighed for fleksibilitet og forsynings sikkerhed. For nogle industrier og processer vil det være særdeles vanskeligt at styre processerne med hensyn til fleksibilitetsbehov i elsystemet. Det er en generel udfordring, at energi ofte ikke har den primære fokus i industrien og ofte kun kan gennemføres med tilbagebetalingstid på mindre end 5 år.

Virkemiddelkatalog - industri

Den eksisterende energispareordning har de senere år øget fokus på energiinvesteringer. En tilsvarende ordning bør sikres og accelereres fremadrettet, gerne med øget økonomisk ramme.

Øge rentabilitet i varmepumper, der leverer overskudsvarme fra eldrevne processer (fjerne/reducere overskudsvarmeafgift fra disse processer).

Fossile brændsler til industri har lavere afgifter end i husholdninger og i fjernvarmen, og incitamentet til elektrificering er derfor lavere her. Højere CO₂-kvotepriser eller afgifter er et muligt virkemiddel. I denne sammenhæng giver international konkurrence risiko for CO₂-lækage, hvilket skal undgås.

Regeringen bør igangsætte en analyse af muligheden for at designe en dansk CO₂-afgift, som er højere end kvoteprisen, uden lækage

Tilskud til varmepumper i industrien, gerne efter model af det tidligere VE til proces-program. Dette er tillige et energisparetiltag.

Enkle procedurer for tilslutning til elnettet. Omkostningsægte tarifiering, der kan honorere fleksibilitet i forbrug

Sikre god erfaringsudveksling i de enkelte brancher gennem støtte af ERFA-ordninger.

El-infrastrukturselskaber

Infrastrukturselskaber, herunder især elnetselskaberne, har en helt afgørende rolle for en succesfuld elektrificering af det danske samfund. Der skal med høj sikkerhed kunne regnes med, at elnettet effektivt kan transportere den efterspurgte elektricitet med en forudsigelig tarifstruktur. Ønske om tilslutning af nyt og øget elforbrug skal kunne foregå hurtigt og enkelt og til rimelige priser.

Virkemiddelkatalog – el-infrastrukturselskaber

Sikkerhed om mål og rammer for udvikling af 5-årsplaner for infrastruktur, som tager højde for fremtidige klimmål. Herunder udarbejdelse af planer, der viser hvordan øget behov som følge af elektrificering dækkes. Sådanne planer kan eventuelt tilpasses kadencen i den kommende klimalov.

Sikre omkostningsægte tariffing, der honorerer fleksibelt forbrug.

Regulering, der understøtter smart og fleksibelt forbrug og udbygning af nødvendig infrastruktur

Bilag – vigtigste beregningsforudsætninger

	CapEx (mDKK/MW, DKK/kWh)				Virkningsgrad (%)				Fyldningstid (timer, op- / afladning)				Fulldlasttimer (timer)			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Teknologidata - produktion																
Vind (Offshore, 30 km)	16,78	15,22	14,23	13,40									4.500	4.650	4.700	4.900
Vind (Onshore)	10,12	9,84	9,17	8,69									3.400	3.600	3.700	3.800
Sol PV	4,83	4,01	3,59	3,22									1.050	1.080	1.100	1.120
Gasturbine	6,17	5,84	5,84	5,57	56	58	58	60								
Biomasse (CHP, modtryk)	28,89	27,38	27,38	25,49	109	109	109	109								
Teknologidata infrastruktur og lager																
Transmissionsledning, landkabel (per 100 km)	0,94	0,87	0,82	0,78												
Transmissionsledning, havkabel (per 100 km)	1,15	1,06	1,01	0,96												
Transmissionsledning, transformerstationer	2,56	2,35	2,23	2,12												
Ellager	3,35	2,35	1,51	1,05	91	92	92	92	2 / 0,33	2 / 0,33	2 / 0,33	2 / 0,33				
Varmelager (sæson)	4,19	3,99	3,99	3,57	88	88	88	88	168	168	168	168				
Varmelager (korttid)	24,76	24,76	24,76	24,76	95	95	95	95	8	8	8	8				
Elforbrugsteknologier																
Batteri EV	1.004	502	452	401	83	88	89	90								
Varmepumpe (Individuel)	4,67	4,67	4,67	4,67	300	300	300	300								
Varmepumpe (Fjernvarme)	5,07	4,56	4,33	4,10	336	353	366	379								
Varmepumpe (Industri, <100C)	5,07	4,56	4,33	4,10	309	326	339	351								
Varmepumpe (Industri, 100-300C)	6,74	6,07	5,76	5,46	206	217	226	234								
Elkedel	0,50	0,50	0,50	0,50	99	99	99	99								
PtX																
Power-to-hydrogen		3,39	2,37	1,60		66	68	69						2.970	2.840	3.320
Power-to-methane		6,90	4,94	3,43		53	55	56						3.500	3.500	3.200
Power-to-liquid		11,70	9,61	6,69		43	47	48						8.000	8.000	8.000
PtX lager (Sæson)		3,90	3,90	3,90		97	97	97	240	240	240	240				
PtX lager (Korttid)		57,00	57,00	57,00		93	93	93	8	8	8	8				

Figur 17: Vigtigste beregningsforudsætninger for centrale teknologier.

Økonomi for udbygning af elnet og ladeinfrastruktur i scenarierne

Beregninger for ladeinfrastruktur er baseret på antagelser om fordeling af opladning på både offentlige hurtigladere og hjemmeladere. For omkostninger til elnettet antages fire forskellige niveauer for elnetomkostningen, der dækker både udgifter til øget transmissions- og distributionskapacitet, jf. metoden forklaret ovenfor.

	DKK/MWh
El- og fjernvarme (varmepumper/elpatroner)	95*
Bygninger	240
Industri	160
Transport hurtigladere	160
Transport hjemmeladere	240
PtX	40

*Tabel 3: Antagelser for elnetomkostninger afhængig af tilslutningsniveau/type. *Varmepumper i el- og fjernvarmesystemet antages at betale en fast tarif pr. kW tilsluttet effekt. Betalingen omregnet til DKK/MWh er derfor afhængig af driften og varierer imellem scenarier og beregningsår.*