

Udbygning og støttebehov for vedvarende energi frem mod 2030

Baggrundsnotat til Klimarådets analyse *Fremtidens vedvarende energi*

Indhold

1	Indledning	2
2	Analyseforudsætninger	2
2.1	Scenarieopsætning	3
2.2	Sektorer uden for el- og fjernvarmeforsyningen	5
2.3	El- og fjernvarmeforsyningen	9
2.4	Centrale usikkerheder	16
3	Resultater	17
3.1	El- og fjernvarmeproduktion	19
3.2	Udbygning med vedvarende energi	22
3.3	Meromkostning ved et højere VE-mål	25
3.4	Støttebehov for vedvarende energi	26
3.5	Højere VE-mål end 55 pct.	28

1 Indledning

Dette baggrundsnotat indeholder en analyse af behovet for udbygning med vedvarende energi frem mod 2030. Notatets resultater danner baggrund for Klimarådets analyse *Fremtidens vedvarende energi*, og underbygger argumenter og anbefalinger i analysens spørgsmål 2 og 3.

Klimarådet analyserede i hovedrapporten for 2017, *Omstilling frem mod 2030*, hvordan Danmark omkostningseffektivt og under hensyntagen til overgangen til et lavemissionssamfund kan opfylde EU's mål til reduktion af drivhusgasudledninger fra ikke-kvotesektoren. I dette baggrundsnotat behandles et andet mål, nemlig regeringens mål for vedvarende energi (VE) i 2030.

Analysen har til formål at undersøge især tre aspekter af udbygningen med vedvarende energi frem mod 2030. For det første undersøges den nødvendige udbygning med vedvarende energi for at nå regeringens VE-mål for 2030 på 50 pct. henholdsvis et højere mål på 55 pct. For det andet undersøges de samfundsøkonomiske omkostninger ved at stile mod en VE-andel på 55 pct. i 2030 frem for 50 pct. For det tredje undersøges, i hvilket omfang forskellige VE-teknologier forventes at have behov for støtte fremadrettet.

Analysen fokuserer på udbygningen af vedvarende energi inden for el- og fjernvarmeforsyningen, herunder i særlig grad udbygningen med vind og sol. Opfyldelsen af målet for vedvarende energi afhænger dog af Danmarks samlede forbrug og produktion af vedvarende energi, og i analysen behandles derfor også udviklingen i sektorer uden for el- og fjernvarmeforsyningen.

I analysen anvendes energisystemmodellen Balmorel til optimering af udbygningen med vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen. Beregningerne i Balmorel er udført af Ea Energianalyse for Klimarådet.

I kapitel 2 gennemgås først centrale forudsætninger for analysen, hvorefter resultater præsenteres og diskuteres i kapitel 3.

2 Analyseforudsætninger

I dette kapitel gennemgås analysens scenarier og de centrale forudsætninger og antagelser, der er anvendt i opsætningen heraf.

I analysen beregnes VE-andelen efter samme metode, som anvendes i forbindelse med EU's målsætninger for vedvarende energi. Metoden er defineret i EU's direktiv om vedvarende energi (direktiv 2009/28/EF). I denne metode sættes produktionen af vedvarende energi i forhold til det *udvidede endelige energiforbrug*.

Opgørelsen af det udvidede endelige energiforbrug tager udgangspunkt i det *endelige energiforbrug*. Det endelige energiforbrug i Danmark udgøres af energiforbruget leveret til slutbrugerne, dvs. til private og offentlige erhverv og husholdninger, herunder også forbrug til andet end energiformål som fx bitumen til asfaltering. Det endelige energiforbrug er eksklusive grænsehandel med olieprodukter, der defineres som benzin, gas-/dieselolie og petroleumskoks, der indkøbes på den ene side af grænsen og forbruges på den anden.

Det udvidede endelige energiforbrug opgøres som det endelige energiforbrug fratrukket forbrug til ikke energiformål og tillagt grænsehandel med olieprodukter, distributionstab i el- og fjernvarmenet og egetforbrug af el- og fjernvarme i el- og varmeværker.

2.1 Scenarieopsætning

I analysen regnes på to hovedscenarier for udbygningen med vedvarende energi:

- **50 pct. scenarie:** I scenariet sikres det, at andelen af vedvarende energi i 2030 er 50 pct., hvormed regeringens målsætning akkurat nås.
- **55 pct. scenarie:** I scenariet hæves andelen af vedvarende energi til 55 pct. i 2030.

De to scenarier adskiller sig kun ved forbruget af vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen. Udviklingen frem mod 2030 i de øvrige sektorer uden for el- og fjernvarmeforsyningen er således ens for de to scenarier. Forskellene mellem scenarierne er beskrevet i Tabel 1.

50 pct. scenarie	55 pct. scenarie
<p>Sektorer uden for el- og fjernvarmeforsyningen</p> <p><i>Energistyrelsens Basisfremskrivning 2017</i> Fremskrivning af udviklingen inden for alle sektorer.</p> <p><i>Klimarådets omstillingselementer</i> Tiltag inden for transport, individuel opvarmning, energieffektivitet og biogasproduktion inkluderes.</p>	
<p>El- og fjernvarmeforsyningen</p> <p>Nødvendig VE-andel i el- og fjernvarmeforsyningen i 2030: 80 pct.</p> <p>Udbygningen med vedvarende energi optimeres i Balmorel.</p>	<p>El- og fjernvarmeforsyningen</p> <p>Nødvendig VE-andel i el- og fjernvarmeforsyningen i 2030: 92 pct.</p> <p>Udbygningen med vedvarende energi optimeres i Balmorel.</p>

Tabel 1 Beskrivelse af analysens to scenarier

Kilde: Klimarådet og Ea Energianalyse

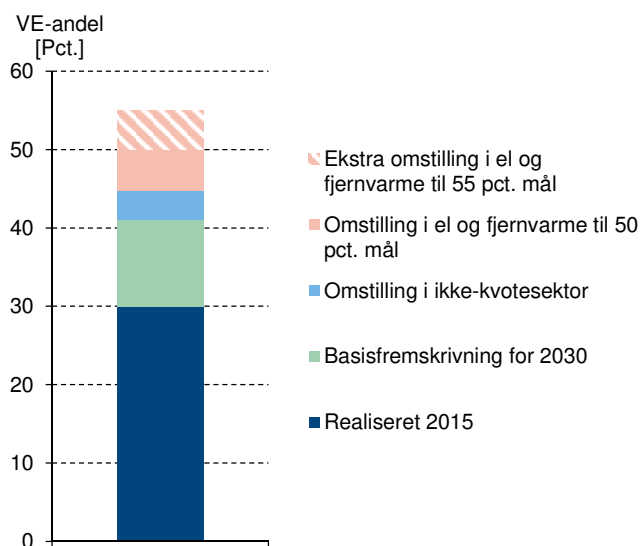
Energistyrelsens *Basisfremskrivning 2017* udgør grundlaget for begge scenarier. Såfremt udviklingen i Danmark følger basisfremskrivningen, vil hverken regeringens VE-mål for 2030 eller EU's reduktionsmål for drivhusgasudledningen i ikke-kvotesektoren nås. Der er dermed behov for yderligere tiltag for at nå de to mål.

I rapporten *Omstilling frem mod 2030* anbefaler Klimarådet en samlet pakke af omstillingselementer, der tilsammen sikrer, at Danmark når EU's reduktionsmål for drivhusgasudledning i ikke-kvotesektoren¹. Rapporten viser, at der er flere mulige omstillingselementer, der dels peger i retning af en omstilling mod et lavemissionssamfund i 2050 og dels vil kunne implementeres til lave samfundsøkonomiske omkostninger. I denne analyse er det valgt, at begge scenarier inkluderer Klimarådets anbefalede omstillingselementer. Begge scenarier opfylder dermed med rimelig sikkerhed EU's reduktionsmål for drivhusgasudledningen fra ikke-kvotesektoren.

¹ For nærmere uddybning af forudsætningerne for opfyldelse af EU's mål ved gennemførelse af Klimarådets anbefalede pakke af omstillingselementer, se rapporten *Omstilling frem mod 2030*.

Ved at gennemføre Klimarådets anbefalede omstillingselementer påvirkes også VE-andelen. Ved at lægge den anbefalede pakke af omstillingselementer til den i *Basisfremskrivningen 2017* forventede udvikling øges VE-andelen med ca. 4 pct.-point, så den samlede VE-andel i 2030 bliver ca. 45 pct. Der er derfor behov for yderligere tiltag for at nå regeringens mål på 50 pct. vedvarende energi i 2030 såvel som et højere mål på 55 pct.

I scenarierne findes de resterende pct.point op til 50 og 55 pct. ved at udbygge med vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen frem mod 2030. Denne del af analysen foretages i energisystemmodellen Balmorel, som anvendes til at finde en omkostningseffektiv omstilling af el- og fjernvarmeforsyningen. I modellen implementeres et lineært stigende krav til VE-andelen i el- og fjernvarmeforsyningen frem mod 2030 for at tvinge modellen til at igangsætte omstillingen i nogenlunde god tid. Det er i denne del af analysen, at de to scenarier afviger fra hinanden, idet kravet til den nødvendige VE-andel i el- og fjernvarmeforsyningen for at nå en samlet VE-andel på 50 og 55 pct. i 2030 er forskelligt.



Figur 1 Opfyldelse af 2030-mål i Klimarådets analyse

Anm.: Omstilling i ikke-kvotesektor bygger på de af Klimarådets omstillingselementer, der ligger uden for el- og fjernvarmeforsyningen. For omstillingselementer vedrørende energieffektivisering i produktionserhverv og bygninger er der inkluderet effekter både inden for og uden for kvotesektoren.

Kilde: Klimarådet og Energistyrelsen.

Modelkørslerne i Balmorel giver et realistisk bud på, hvor meget vedvarende energi der skal udbygges i el- og fjernvarmeforsyningen for at nå en VE-andel på 50 og 55 pct. under den forudsætning, at udviklingen uden for el- og fjernvarmeforsyningen følger basisfremskrivningen, samt at Klimarådets anbefalede omstillingselementer implementeres. Såfremt udviklingen uden for el- og fjernvarmeforsyningen kommer til at afvige herfra, vil dette selvsagt påvirke behovet for udbygning med vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen. Måden hvorpå de to scenarier når 50 henholdsvis 55 pct. vedvarende energi i 2030 er vist i Figur 1.

I forbindelse med COP23 i Bonn i november 2017 meldte regeringen Danmark ind i en koalition af lande, der vil udfase brugen af kul i elforsyningen.² Denne erklæring er ikke medtaget i

² Se www.regeringen.dk/nyheder/regeringen-vil-sende-kullene-paa-pension-i-2030/.

Klimarådet.

analysen, og scenarierne inkluderer således ikke en tvungen udfasning af kul i elforsyningen. Klimarådet og Ea Energianalyse har dog efterfølgende analyseret effekten af en sådan udfasning og finder, at ingen af analysens resultater ændres kvalitativt.

For at belyse usikkerheder i forbindelse med en række af analysens centrale forudsætninger for udviklingen i el- og fjernvarmeforsyningen er der for begge scenarier foretaget i alt fire følsomhedsanalyser:

- **Grøn omverden:** Mindre efterspørgsel efter fossile brændsler og en ambitiøs europæisk klimapolitik giver sig i dette scenarie udtryk i lavere brændselspriser og højere CO₂-kvotepris.
- **Billigere vind og sol:** Teknologiudviklingen går ofte hurtigere end forventet inden for vedvarende energi, så dette scenarie indregner 10 pct. lavere teknologipriser for vind og sol i forhold til hovedscenarierne.
- **Intet loft for vind og sol:** I Balmorel er indlagt et loft på den årlige udbygning af vind og sol for at fange ikke-økonomiske barrierer. Dette scenarie ser på konsekvenserne af at fjerne dette loft.
- **Samfundsøkonomisk optimering:** Optimeringen af drift og investeringer i el- og fjernvarmeforsyningen foretages i hovedscenarierne på selskabsøkonomiske vilkår, men i dette scenarie sker det på samfundsøkonomiske vilkår.

I de følgende afsnit er metoden og centrale forudsætninger for analysen uddybet.

2.2 Sektorer uden for el- og fjernvarmeforsyningen

Energiforbruget uden for el- og fjernvarmeforsyningen udgøres hovedsageligt af el-, fjernvarme- og brændselsforbrug i transporten, husholdninger, service- og produktionserhverv. I analysens scenarier antages udviklingen i energiforbrug og VE-andel i disse sektorer at følge Energistyrelsens *Basisfremskrivning 2017* og Klimarådets anbefalede omstillingselementer fra rapporten *Omstilling frem mod 2030*. Yderligere energibesparelser eller introduktion af vedvarende energi ud over de tiltag, der er inkluderet i basisfremskrivningen og Klimarådets omstillingselementer, optimeres ikke i analysen.

Denne afgrænsning betyder, at opfyldelsen af VE-målene på 50 og 55 pct. potentielt vil kunne foregå mere omkostningseffektivt, end analysen viser. Dette vil være tilfældet, hvis yderligere tiltag for energibesparelser eller introduktion af vedvarende energi i transporten, husholdninger og service- og produktionserhverv viser sig billigere end udbygning med vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen. Typisk vil tiltag inden for el- og fjernvarmeforsyningen dog være billigere end tiltag i de andre sektorer.

Basisfremskrivning 2017

Energistyrelsen udgiver løbende fremskrivninger af, hvordan energiforbrug og -produktion samt udledning af drivhusgasser vil udvikle sig i Danmark, hvis der ikke implementeres nye politiske tiltag. Fremskrivningerne medtager således kun allerede besluttede politikker og virkemidler. Den seneste basisfremskrivning udkom i marts 2017.

I denne analyse baseres udviklingen i energiforbrug og VE-andel i transporten, husholdninger, service- og produktionserhverv frem til 2030 på den fremskrevne udvikling i basisfremskrivningen. Dertil inkluderes som nævnt Klimarådets omstillingselementer.

Klimarådet.

I *Basisfremskrivning 2017* er udarbejdet to overordnede forløb, der adskiller sig ved at medregne henholdsvis ikke at medregne Ørsted³ udmelding⁴ om at stoppe brugen af kul på selskabets kraftvarmeværker fra 2023. I basisfremskrivningens grundforløb, hvori Ørsted³ udmelding ikke medregnes, fremskrives VE-andelen i 2030 til 39,1 pct., hvorimod andelen bliver 41,0 pct. i det alternative forløb, hvor Ørsted³ udmelding medregnes. Ørsted³ annoncerede omstilling væk fra kul har således stor betydning for andelen af vedvarende energi i Danmark.

Da det må forventes, at Ørsted³ beslutning om at indstille brugen af kul på selskabets værker i 2023 vil blive realiseret, inkluderes denne i analysens scenarier.

Klimarådets omstillingselementer

I rapporten *Omstilling frem mod 2030* anbefaler Klimarådet en pakke af omstillingselementer, der tilsammen sikrer, at Danmark med rimelig sandsynlighed opfylder EU's mål om reduktion i udledning af drivhusgasser i ikke-kvotesektoren. Opfyldelsen af EU's mål er beregnet i forhold til Energistyrelsens centrale skøn for reduktionsbehovet, men da der er væsentlige usikkerheder om, præcist hvor stort det reelle reduktionsbehov bliver, anbefaler Klimarådet at stile mod en overopfyldelse af målet.

Et omstillingselement er en klimavenlig ændring af forbrug eller produktion, men der er ikke tale om et egentligt virkemiddel som fx en afgift eller et tilskud. I rapporten analyseres i alt 20 omstillingselementer, der vurderes at udgøre de væsentligste og mest relevante reduktionstiltag inden for ikke-kvotesektoren. De analyserede omstillingselementer udgør dog ikke en udtømmende liste over alle tænkelige reduktionstiltag, og der vil derfor være andre mulige tiltag ud over de analyserede.

Klimarådets analyse af omstillingselementer retter sig mod ikke-kvotesektoren. I ikke-kvotesektoren udgør transport, bygningsopvarmning, landbrug og mindre produktionserhverv de største kilder til udledning af drivhusgasser. Som nævnt findes størstedelen af det energiforbrug, der ligger uden for el- og fjernvarmeforsyningen, netop i transporten, husholdninger og produktionserhverv. Klimarådets analyserede omstillingselementer vurderes derfor at dække de mest relevante potentialer i sektorerne uden for el- og fjernvarmeforsyningen.

Af de 20 analyserede omstillingselementer anbefaler Klimarådet 11, hvoraf ni har indvirkning på andelen af vedvarende energi i Danmark og dermed er relevante i forhold til denne analyse. Fælles for de anbefalede omstillingselementer er, at de i overvejende grad bidrager til omstillingen mod et lavemissionssamfund i 2050 og vurderes at kunne implementeres til moderate samfundsøkonomiske omkostninger.

Omstillingselementerne repræsenterer områder, hvor der ifølge Klimarådet eksisterer potentialer for omkostningseffektive reduktioner i drivhusgasudledningen ud over den i basisfremskrivningen forventede udvikling. Potentialerne inden for hvert omstillingselement lægges i denne analyse derfor til udviklingen fra basisfremskrivningen.

Følgende af Klimarådets anbefalede omstillingselementer er medtaget:

- Elbiler
- Gas i tung transport
- Individuelle varmepumper

³ Tidligere Dong Energy.

⁴ Ørsted (2017) CO₂-neutral-energy-production, <https://orsted.com/en/Our-business/Bioenergy-and-Thermal-Power/CO2-neutral-energy-production>

Klimarådet.

- Træpillefyr
- Energirenovering af bygninger
- Energieffektivisering af produktionserhvervene
- Biogas i naturgasnettet

Disse syv omstillingselementer inddrages eksogent i opsætningen af alle de beregnede scenarier. Foruden ovenstående indgår også udbygning med store varmepumper og solvarme i fjernvarmeforsyningen i Klimarådets anbefalede omstillingselementer. Da fjernvarmeforsyningen i denne analyse optimeres i modelkørslerne i Balmorel, optimeres investering i solvarme og store varmepumper også i Balmorel, og kapaciteterne for disse to teknologier kan derfor afvige fra potentialerne oplistet i Klimarådets rapport *Omstilling frem mod 2030*.

I Tabel 2 oplistes omstillingselementerne og deres medregnede potentialer. I tabellen er angivet de totale potentialer inklusive den i basisfremskrivningen indeholdte udvikling. Antallet af elbiler i 2030 antages eksempelvis at udgøre 520.000 samlet set, hvoraf ca. 113.000 forventes i basisfremskrivningen og de resterende 407.000 udgør det vurderede ekstra potentiale for omstillingselementet.

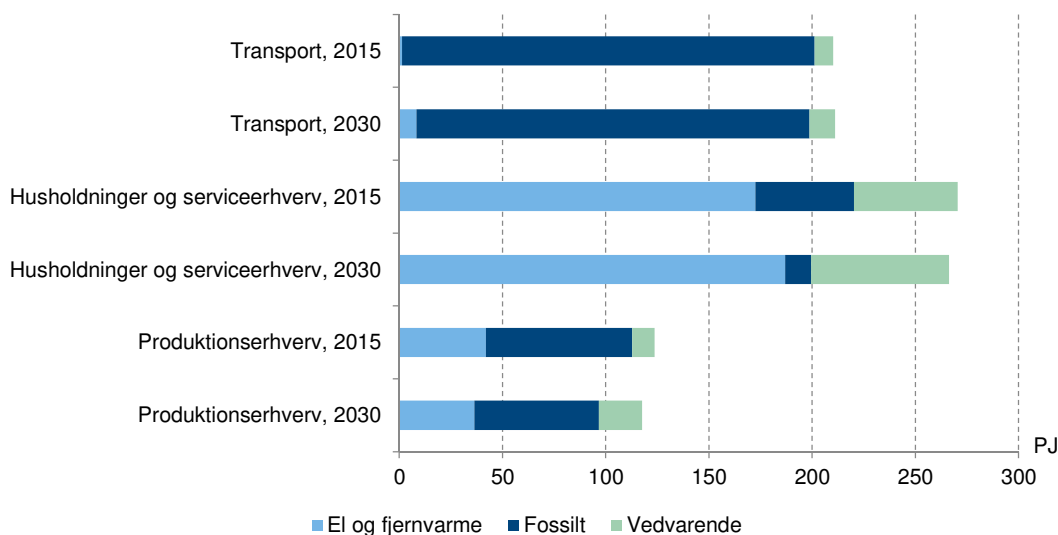
Omstillings-element	Beskrivelse	Samlet antal / mængde i 2030
Elbiler	Konventionelle diesel- og benzinbiler erstattes af elbiler.	520.000 elbiler svarende til ca. 17 pct. af den samlede bestand af personbiler.
Gas i tung transport	Konventionelle lastbiler med dieselmotorer erstattes med lastbiler med gasmotorer.	Ca. 7 pct. af lastbilflåden har gasmotor.
Individuelle varmepumper	Olie- og naturgasfyr i husstande erstattes med individuelle varmepumper.	45 pct. af husstande med oliefyr skifter til varmepumper, mens 20 pct. af husstande med naturgasfyr skifter til varmepumper.
Træpillefyr	I de husstande med oliefyr, hvor individuelle varmepumper på kort sigt ikke er teknisk eller økonomisk attraktive, erstattes oliefyrene med træpillefyr.	55 pct. af husstande med oliefyr skifter til træpillefyr.
Energirenovering af bygninger	Der udføres energirenovering i forbindelse med almindelig vedligehold og renovering af eksisterende danske bygninger.	Varmeforbruget i eksisterende bygninger reduceres med ca. 16 pct. i forhold til i dag.
Energieffektivisering af produktionserhvervene	Der udføres energieffektiviserende tiltag i fremstillingsvirksomheder, landbrug og bygge- og anlægsvirksomheder.	Energibesparelse på ca. 19 pct. af det nuværende energiforbrug i produktionserhvervene.
Biogas i naturgasnettet	Øget produktion af biogas, som opgraderes og indføres i naturgasnettet, hvor den erstatter naturgas.	Årlig produktion af ca. 29 PJ biogas, hvoraf ca. 20 PJ opgraderes og indføres i naturgasnettet.

Tabel 2 Klimarådets medtagne omstillingselementer og tilhørende potentialer

Kilde: Klimarådet

Samlet bidrag fra sektorer uden for el- og fjernvarmeforsyningen

Ved at lægge Klimarådets omstillingselementer til udviklingen i basisfremskrivningen opnås en sammensætning af det endelige energiforbrug i 2030 i transportsektoren, husholdninger og service- og produktionserhverv som vist i Figur 2. Den forudsatte udvikling i disse sektorer er som nævnt ens for alle analysens scenarier. I figuren er også vist sammensætningen af sektorerne energiforbrug i 2015.



Figur 2 Sammensætningen af det endelige energiforbrug fordelt på el og fjernvarme og fossile og vedvarende brændsler

Anm.: Tallene fra 2015 er fra Energistyrelsens *Basisfremskrivning 2017*. Den ekstra biogas, der som følge af Klimarådets omstillingselement indføres i naturgasnettet, er i figuren fordelt på transport (14 pct.), husholdninger og serviceerhverv (43 pct.) og produktionserhverv (43 pct.) i 2030. Denne fordeling er uden betydning for den samlede VE-andel.

Kilde: Klimarådet og Energistyrelsen.

I Figur 2 fremstår andelen af el i transportsektoren lav dels som følge af, at elbiler kun udgør omtrent en sjettedel af det samlede antal personbiler i 2030 og dels som følge af, at elbiler er meget energieffektive i forhold til konventionelle benzin- og dieslbiler. Generelt har energieffektive teknologier som elbiler mindre indvirkning på VE-andelen end mere ineffektive teknologier som anvendelse af biobrændstoffer i forbrændingsmotorer.

Særligt inden for individuel opvarmning forudsættes i analysen en væsentlig introduktion af vedvarende energi frem mod 2030, hvorimod omstillingen i transporten og produktionserhvervene er mere begrænset. I transporten og produktionserhvervene eksisterer stadig et stort fossilt brændselsforbrug i 2030, og disse sektorer står derfor over for en stor omstilling efter 2030 og frem mod 2050. Såfremt transporten og produktionserhvervene skal bidrage mere til VE-andelen frem mod 2030, er øget elektrificering og øget anvendelse af biogas og biomasse, herunder biobrændstoffer, blandt mulige tiltag.

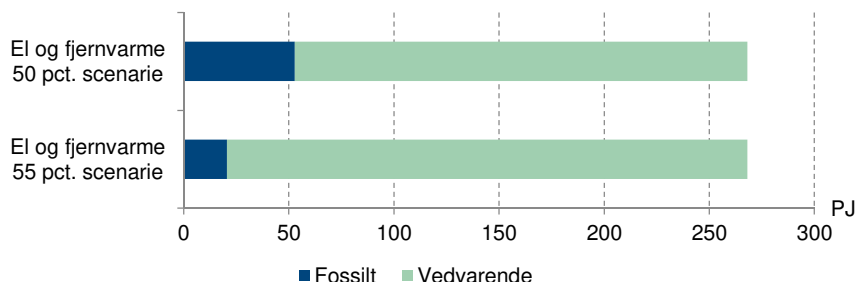
For transporten kan en øget udbredelse af elbiler eller øget iblanding af biobrændstoffer i benzin og diesel bidrage til en højere VE-andel. I analysen er antaget 520.000 elbiler i 2030, hvilket vurderes at være forholdsvist ambitiøst. Idet elbiler er meget energieffektive, skal antallet af elbiler desuden øges markant, før VE-andelen påvirkes betydeligt, og dette synes ikke realistisk inden 2030. Iblanding af biobrændstoffer i benzin og diesel gør modsat brug af mindre energieffektive teknologier i form af forbrændingsmotorer, hvorfor dette tiltag kan have et

stort potentiale for at øge VE-andelen. Iblanding af biobrændstoffer er dog et tiltag, som Klimarådet ikke anser som en langsigtet løsning, da elektrificering vurderes som den primære løsning inden for vejtransporten. I produktionserhvervene kan det fossile energiforbrug yderligere elektrificeres, omstilles til biomasse eller effektiviseres ud over det, der er forudsat i basisfremskrivningen og Klimarådets omstillingselementer. Anvendelsen af fossile brændsler i produktionserhvervene er tilknyttet en lang række forskelligartede processer og behov, og potentialer og omkostninger for yderligere tiltag er derfor usikre. I denne analyse er potentialer for yderligere tiltag inden for transporten og produktionserhverv ikke analyseret.

2.3 El- og fjernvarmeforsyningen

I analysens scenarier optimeres el- og fjernvarmeforsyningens bidrag til andelen af vedvarende energi gennem modelkørsler i energisystemmodellen Balmorel. Modelkørslerne giver et realistisk bud på mængden af vedvarende energi, der skal introduceres i el- og fjernvarmeforsyningen for at nå henholdsvis 50 og 55 pct. vedvarende energi under den forudsætning, at udviklingen i energiforbrug og VE-andel i transporten, husholdninger og service- og produktionserhverv følger basisfremskrivningen og Klimarådets anbefalede omstillingselementer.

Baseret på forudsætningerne for udviklingen i energiforbrug og VE-andel inden for transport, husholdninger og service- og produktionserhverv, skal VE-andelen i el- og fjernvarmeforsyningen som minimum udgøre henholdsvis 80 og 92 pct. for at nå en samlet VE-andel på 50 og 55 pct. Minimumskravet til andelen af vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen i de to hovedscenarier er vist i Figur 3.



Figur 3 Minimumskrav til andelen af vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen ved forskellige VE-mål

Kilde: Ea Energianalyse.

Balmorel

Balmorel er en open source-model, der simulerer og optimerer el- og fjernvarmeforsyningen med henblik på minimering af de samlede omkostninger for el- og fjernvarmesystemet. Modellen dækker kun el- og fjernvarmesektoren og behandler således ikke øvrige sektorer som transport og individuel opvarmning. I denne analyse modelleres el- og fjernvarmeforsyningen for hvert andet år i perioden frem til 2030.

Danmark er tæt forbundet med vore nabolandes energisystemer igennem det nordiske elmarked og transmissionsforbindelser til udlandet, og udviklingen af disse er derfor afgørende for det danske energisystem, herunder i særdeleshed de danske elpriser. I Balmorel modelleres derfor også energiproduktion og -transmission i de fleste øvrige europæiske lande.

Input til modellen omfatter el- og fjernvarmebehov, eksisterende og planlagte produktionsanlæg, transmissions- og lagerkapaciteter, brændselspriser, CO₂-kvotepriser m.fl. På baggrund af disse input drifter modellen el- og fjernvarmesystemet billigst muligt og investerer i ny produktions- eller lagerkapacitet, hvis et eller flere af følgende forhold gør sig gældende:

- Det er økonomisk attraktivt at investere i ny produktions- eller lagerkapacitet og anvende denne i stedet for eksisterende anlæg.
- Ny produktions- eller lagerkapacitet er nødvendig for at imødekomme el- eller fjernvarmebehovet. Denne situation kan blandt andet forekomme, hvis eksisterende produktionsanlæg tages ud af drift som følge af endt teknisk levetid, eller hvis stigende el- eller fjernvarmebehov er antaget.
- Specificerede krav medfører behov for ny produktions- eller lagerkapacitet. Et eksempel herpå er et eksogent minimumskrav til andelen af vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen, der kan tvinge modellen til at investere i ny kapacitet baseret på vedvarende energi. I denne analyse sikres det, at en VE-andel på 50 henholdsvis 55 pct. nås i 2030 ved at indføre et lineært stigende krav til VE-andelen i el- og fjernvarmeforsyningen frem mod 2030. Det eksogene krav til VE-andelen kan ses som et teknologineutralt tilskud til al vedvarende energi, der nøjagtigt er stort nok til, at modellen investerer i vedvarende energi, indtil kravet er mødt.

I modellen beregnes dernæst, hvilke teknologier det under de valgte forudsætninger og eksogene krav bedst kan betale sig at investere i.

I modellen beregnes rentabiliteten af investeringer i produktions- og lagerkapacitet under en forudsætning om, at de aktuelle priser på inputs og outputs i investeringsåret vil være gældende i hele investeringens levetid. Dette kan resultere i, at modellen foretager investeringer for tidligt eller for sent afhængigt af, hvordan de økonomiske forhold udvikler sig i årene efter investeringen. Når resultaterne fra modelkørslerne fortolkes, er det derfor vigtigt at forholde sig kritisk til, hvorvidt investeringerne er økonomisk attraktive også under hensyntagen til den forventede fremtidige udvikling i priser for brændsler, el, CO₂-kvotepriser mv.

Forudsætninger for internationale markeder og priser

Danmark er en del af et internationalt elmarked, og omkostninger og gevinster ved at drive det danske energisystem samt investere i ny produktions- og lagerkapacitet afhænger meget af internationale priser for teknologier, brændsler og CO₂-kvoter samt udviklingen i energiforbrug og -produktion i de omkringliggende lande.

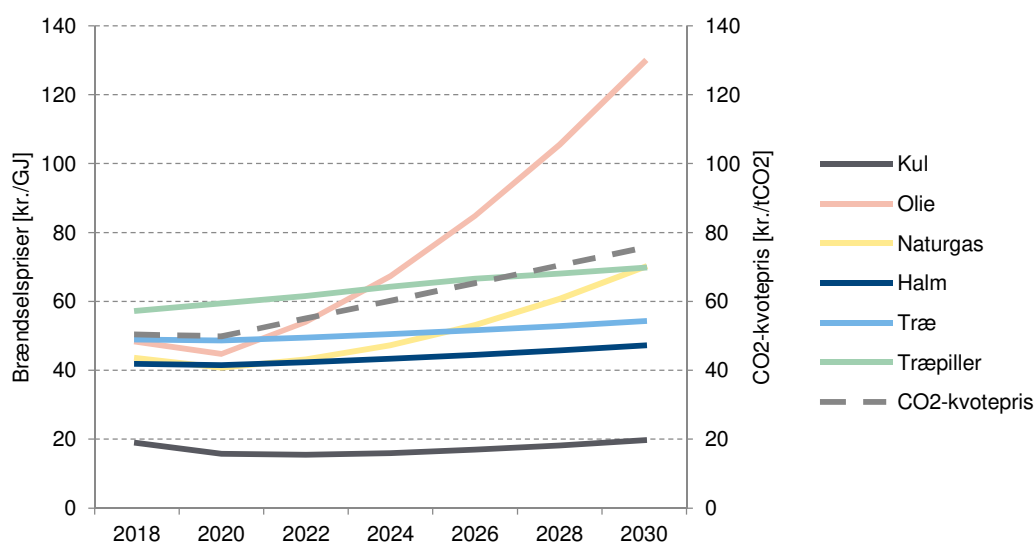
Analysen forudsætter en løbende omstilling af elsystemet til vedvarende energi i øvrige europæiske lande baseret blandt andet på vurderinger af de enkelte landes politikker, eksisterende kapaciteter og den generelle udvikling i priser for vedvarende energi.⁵

I modelberegningerne er inkluderet eksisterende samt forventede udlandsforbindelser i perioden frem til 2030. Med en forventet idriftsættelse af Viking Link fra Danmark til England i 2023 opnås en samlet transmissionskapacitet for import og eksport mellem Danmark og vore nabolande på lidt over 10.000 MW fra 2023 og frem til 2030.

Brændselspriserne anvendt i analysen følger forwardpriser frem til 2020. Fra 2020 til 2030 anvendes et konvergensforløb mellem forwardpriser og brændselspriser fra *New Policies Sce-*

⁵ I modelkørslerne indgår ud over Danmark også Norge, Sverige, Finland, Estland, Letland, Litauen, Tyskland, Polen, Tjekkiet, Holland, Belgien, Storbritannien, Schweiz, Østrig, Italien og Frankrig.

nario fra det Det Internationale Energiagenturs (IEA) *World Energy Outlook 2016*.⁶ I konvergensforløbet vægtes IEA's brændselspriser gradvist højere indtil 2030, hvor priserne er lig *New Policies Scenario*. I analysen anvendes brændselspriser fra *New Policies Scenario* for at sikre, at analysen benytter de samme forudsætninger som Energistyrelsens basisfremskrivning, der benytter netop disse brændselspriser. For at undersøge effekterne af en mere grøn global udvikling, hvor efterspørgslen efter fossile brændsler er mindre, beregnes som nævnt også en følsomhedsanalyse med brændselspriser fra IEA's *450 Scenario*, der er konsistent med en udvikling, hvor Parisaftalens 2-gradersmål nås. De anvendte brændselspriser i hovedscenarierne er vist i Figur 4.



Figur 4 Antagelser om brændsels- og CO₂-priser frem mod 2030

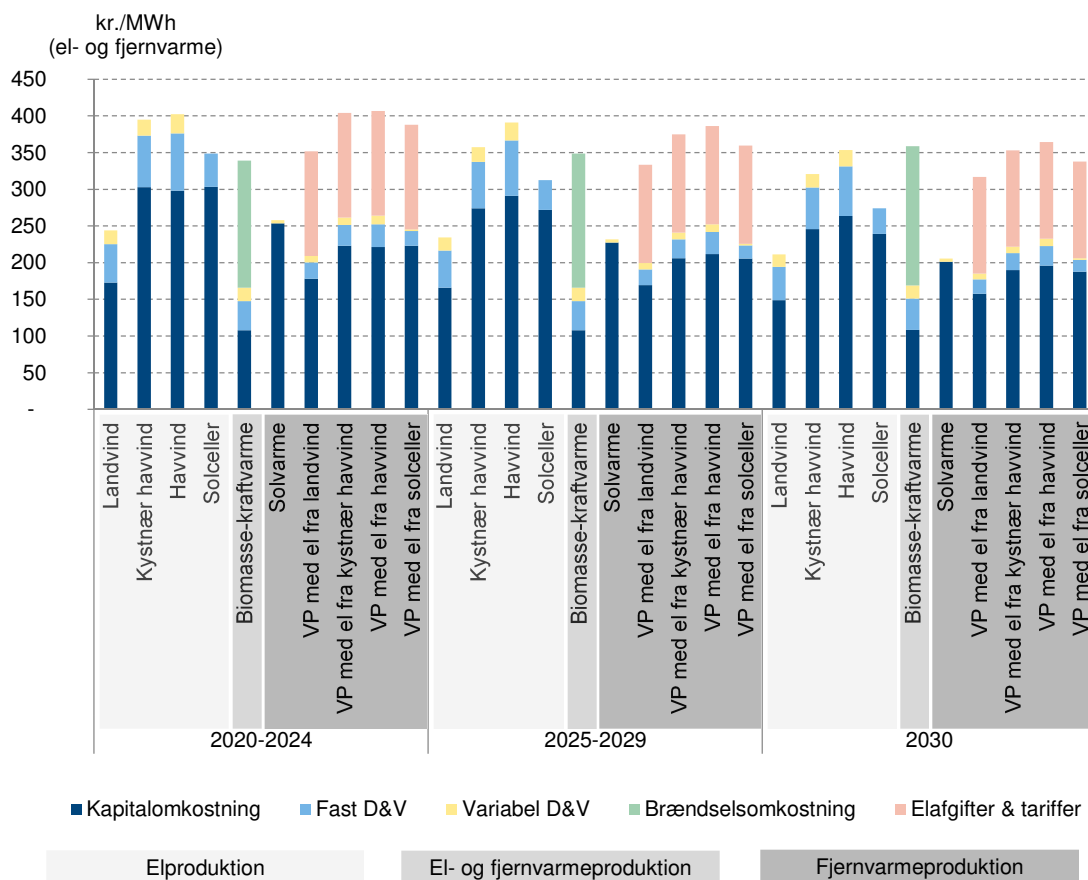
Anm: Brændselspriser er vist an centralt kraftværk. Brændselspriser er vist på den venstre akse og CO₂-kvotepriisen på den højre. Tallene er opgjørt i reale 2016-priser.

Kilde: EA Energianalyse.

De anvendte CO₂-kvotepriiser følger ligeledes forwardpriser frem til 2020, hvorefter der fremskrives lineært, så CO₂-kvotepriisen i 2030 er lig basisfremskrivningens centrale estimat for CO₂-kvotepriisen for 2030. Den anvendte CO₂-kvotepriis i hovedscenarierne er ligeledes vist i Figur 4.

De anvendte teknologipriiser følger Energistyrelsens og Energinets teknologikatalog, men er for havvind og solceller justeret af Ea Energianalyse ud fra erfaringer fra de lave priser, man har observeret i internationale auktioner de seneste år. De resulterende energiproduktionsomkostninger fra vedvarende energiteknologier i hovedscenarierne er vist i Figur 5. Omkostninger er angivet pr. produceret enhed energi som gennemsnit over den tekniske levetid, hvilket også kaldes *levelized cost of energy (LCOE)*.

⁶ I *World Energy Outlook* opererer IEA med tre scenarier: *New Policies Scenario*, der er IEA's grundscenarie, tager højde for politiske forpligtelser og planer, som de enkelte lande har bekendtgjort, herunder nationale løfter om at reducere drivhusgasudledninger og planer om at udfase tilskud til fossil energi. Modsat antages i *Current Policies Scenario* en uændret politik fremadrettet. I *450 Scenario* antages en udvikling, der er konsistent med en koncentration af drivhusgasser i atmosfæren, der fører til en temperaturstigning på 2 °C. *450 Scenario* er det eneste af de tre scenarier, der er konsistent med en udvikling, hvori Parisaftalens 2-gradersmål nås.



Figur 5 LCOE for forskellige el- og fjernvarmeteknologier frem mod 2030

Anm.: For varmepumper (VP) er angivet, hvordan elektriciteten til pumpen produceres. D&V angiver udgifterne til henholdsvis faste og variable drifts- og vedligeholdelsesomkostninger. I analysen antages en halvering af elvarmeafgiften i forhold til i dag, hvilket er indregnet i figuren. Antagelsen er uddybet nedenfor.

Kilde: EA Energianalyse.

Forudsætninger for nationale rammevilkår

Optimeringen af el- og fjernvarmeproduktionen og investeringer i ny produktionskapacitet foretages i analysens hovedscenarier ud fra selskabsøkonomiske vilkår. Dette er valgt for at forudsætningerne i modelkørslerne i så høj grad som muligt afspejler de faktiske økonomiske vilkår, som aktørerne på el- og fjernvarmemarkedet i Danmark må forventes at stå over for frem mod 2030. Det er i praksis gjort ved at fastholde gældende afgifter og tilskud på nær afgiften på el til opvarmning, der halveres fra 2020. Eksisterende tilskudsordninger antages at stoppe, når EU-godkendelsen for disse udløber⁷, som også antaget i basisfremskrivningen. Desuden udfases PSO-afgiften gradvist fra 2017 til 2022, jf. *Aftale om afskaffelse af PSO-afgiften*.

Klimarådet har tidligere anbefalet at sænke afgiften på el anvendt til opvarmning for derved at sikre udbredelsen af varmepumper og begrænse investeringer i biomasse, der i visse tilfælde er

⁷ Baggrundsnotatet *Nuværende danske støtteordninger til vedvarende energi* på Klimarådets hjemmeside beskriver de nuværende danske støtteordninger, og hvornår statsstøttegodkendelserne for disse udløber.

samfundsøkonomisk uhensigtsmæssige. Et flertal i Folketinget har i november 2017 besluttet en sænkning af elvarmeafgiften med 10 øre pr. kWh fra 2019 og en yderligere midlertidig sænkning med 15 øre frem til og med 2020. Aftaleparterne vil derudover arbejde for en varig nedsættelse af elvarmeafgiften med 25 øre pr. kWh i forhold til 2017 fra og med 2021. Dette niveau svarer nogenlunde til analysens forudsætning om en halvering af den nuværende elvarmeafgift.

I analysen er som tidligere nævnt lavet en følsomhedsanalyse, hvor optimeringen af el- og fjernvarmeforsyningen foretages ud fra samfundsøkonomiske vilkår, hvormed afgifter og tilskud, der ikke kan begrundes samfundsøkonomisk, ikke medtages. Et sådant scenarie kan indikere, om hovedscenerierne ser ud til at udvikle sig samfundsøkonomisk uheldigt på grund af uhensigtsmæssig regulering og afgifter.

Gældende regulering med kraftvarmekrav og brændselsbinding er fastholdt i alle scenarier på nær i de følsomhedsanalyser, hvor der optimeres efter samfundsøkonomiske vilkår. I disse vælges frit mellem teknologier og brændsler til varmeproduktion.

Forudsætninger for udbygning med vindmøller og solceller

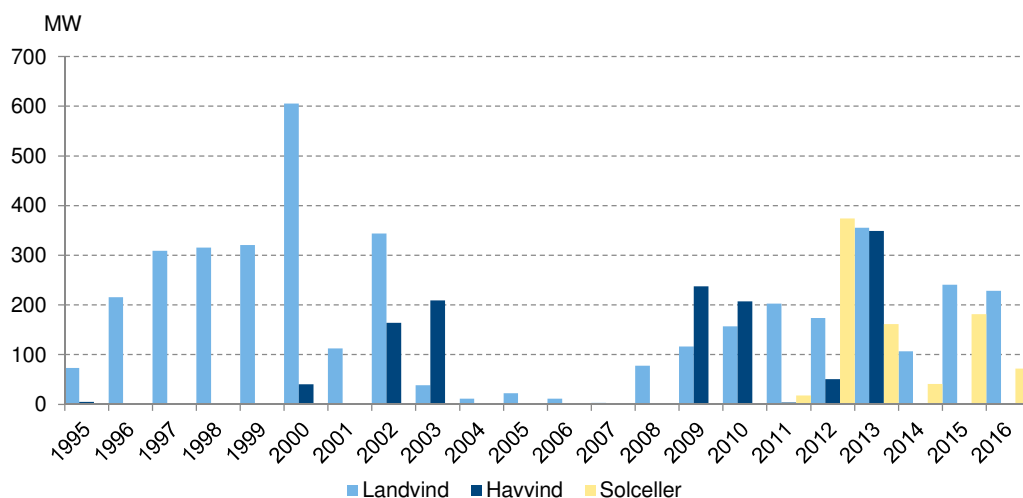
Udbygningen med vedvarende energi afhænger i høj grad af markedsforhold, men for vindmøller og solceller i særdeleshed også af praktiske, planlægningsmæssige og politiske forhold og begrænsninger. I modelkørslerne er derfor antaget et årligt loft for den maksimale udbygning med disse teknologier. Det årlige loft er baseret på Ea Energianalyses vurdering af, hvad der realistisk kan installeres af kapacitet for de givne teknologier på ét år. Tallene er naturligvis usikre og afhænger af politiske forhold, særligt for landvind, men man kommer i en model som Balmorel ikke uden om at sætte tal på de politiske og tekniske begrænsninger for VE-potentialet.

Loftet for maksimal årlig bruttoudbygning udgør for:

- Landvind: 400 MW
- Havvind: 600 MW
- Solceller: 600 MW

Loftet for solceller relaterer sig kun til større solcelleprojekter opsat på landarealer, og udbygningen med solceller på hustage og kommercielle anlæg på tage begrænses derfor ikke af dette loft.

Historisk har udbygningen med landvind, havvind og solceller i Danmark varieret meget år for år. Den årlige bruttoudbygning fra 1995 til 2016 er vist i Figur 6.



Figur 6 Årlig bruttoudbygning med landvind, havvind og solceller i Danmark

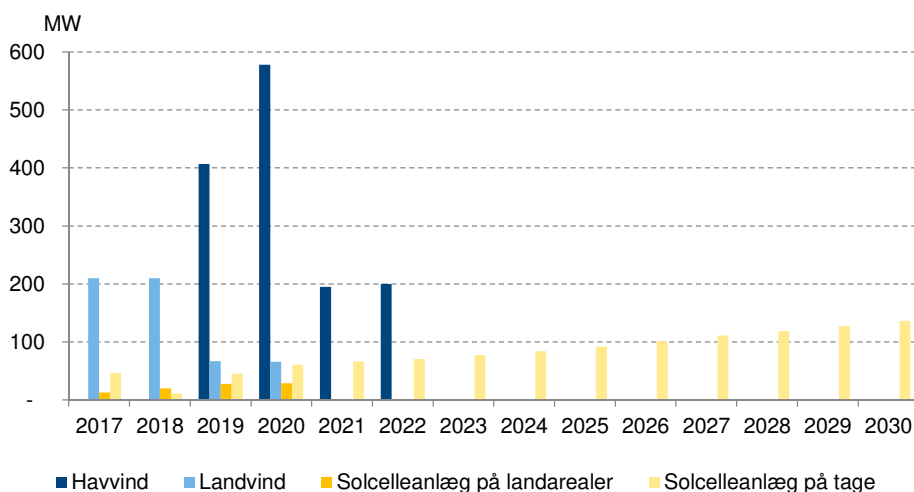
Kilde: Energistyrelsen og Energinet

For landvind har den gennemsnitlige årlige bruttoudbygning fra 2000 til 2016 været 165 MW. Den største årlige udbygning fandt sted i 2000 med i alt 605 MW idriftsatte landvindmøller. I de seneste fem år har udbygningen været størst i 2013, hvor ca. 350 MW blev idriftsat. Det anvendte loft er således tidligere overskredet, men loftet repræsenterer størrelsesmæssigt nogenlunde den største årlige udbygning, der har fundet sted inden for de seneste fem år. I perioden fra 2020 til 2030 forventes en stor del af de eksisterende vindmøller, der er idriftsat inden 2005, at nå deres tekniske levetid, og udbygningen med vedvarende energi skal derfor også erstatte nedtagningen af disse. Nedtagningen af eksisterende vindmøller vil dog frigive arealer, der potentielt vil kunne anvendes til opsætning af nye vindmøller. Udskiftning af ældre vindmøller med nye på samme lokalitet må formodes i nogle tilfælde at være forbundet med mindre lokal modstand end opsætning af nye vindmøller på arealer, hvor der ikke har stået vindmøller tidligere. Da nye vindmøller er betydeligt højere end eksisterende, vil det dog ikke i alle tilfælde være muligt at anvende samme lokalitet, da forhold som fx afstandskrav til nabobeboelse beregnes i forhold til vindmøllernes højde. Nedtagningen af eksisterende vindmøller kan derfor få stor betydning for de planlægningsmæssige udfordringer, der begrænser udbygningen med landvind frem mod 2030.

For landvind antages udover et årligt loft for ny kapacitet også et loft for den samlede kapacitet, der kan placeres på land. Dette loft er baseret på en vurdering fra Ea Energianalyse og er i modelkørslerne sat til 6.500 MW i 2030. Energinet vurderer i deres *Analyse af potentialet for landvind i Danmark i 2030* fra 2015, at der i Danmark er et potentiale for vindmøller på land på ca. 12.000 MW i 2030. Det anvendte loft er således sat væsentligt lavere end Energinets vurdering, hvilket blandt andet skal ses i lyset af den seneste tids lokale modstand mod vindmøller på land.

Den historiske udbygning med solceller i Danmark har overvejende fundet sted de seneste fem år. Den største årlige udbygning skete i 2012 med i alt 374 MW. De planlægningsmæssige begrænsninger for udbygning med solceller vurderes at være mindre end for landvind, og loftet er derfor sat højere. Det skyldes blandt andet, at solceller i mindre grad end vindmøller generer naboer og omgivelser.

Udbygningen med havvind er historisk overvejende sket i større havvindmølleparker, hvoraf Anholt Havmøllepark på 400 MW udgør den største. Anholt Havmøllepark blev idriftsat i 2012 og 2013. Den planlagte havvindmøllepark Kriegers Flak får en samlet kapacitet på 600 MW. Det anvendte loft repræsenterer dermed en årlig udbygning på størrelse med Kriegers Flak. Udbygningen med havvindmøller er i høj grad begrænset af tidsmæssige forhold, efter- som blandt andet udbudsprocesser, godkendelse, planlægning og opsætning af vindmøllerne ofte tager flere år.



Figur 7 Eksogen udbygning i Balmorel med landvind, havvind og solceller

Anm.: Eksogen udbygning vil sige, at modellen tvinges til at investere i kapaciteten uanset økonomi.

Kilde: EA Energianalyse.

I modelkørslerne inkluderes en eksogen udbygning med allerede planlagte og forventede projekter for land- og havvindmøller og store solcelleanlæg opsat på landarealer. Desuden inkluderes også eksogent en forventet løbende udbygning med solceller på tage frem mod 2030. Solceller på tage inkluderes eksogent i scenarierne, da udbygningen med disse primært afhænger af andre incitamentter end elprisen som fx forskellige former for nettoafregning eller opfyldelse af energiramme krav i bygningsreglementet. I stedet for at modellere disse incitamentter i modellen er det valgt at styre udbygningen eksogent. Den samlede kapacitet for planlagte og forventede vindmøller og solceller, som eksogent inkluderes i scenarierne, er vist i Figur 7.

Den planlagte udbygning med havvind inkluderer havvindmølleparkerne Kriegers Flak, Horns Rev 3, de kystnære havvindmølleparker Vesterhav Nord og Syd samt et mindre antal forsøgs-møller.

For landvind er 70 pct. af det nye, teknologineutrale 2018/2019-udbud på forventede 190 MW antaget realiseret som landvindmøller. Desuden inkluderes en forventet udbygning frem til 2018 som følge af det nuværende tilskud på 25 øre pr. kWh, der udløber i 2018. De resterende 30 pct. af 2018/2019-udbuddet er antaget realiseret som solcelleanlæg opsat på landarealer. Desuden inkluderes et mindre udbud for solceller, hvor projekter fra både Danmark og Tyskland kan byde ind. Eventuel midlertidig kapacitet på testmøller som følge af 2018/2019-udbuddet er ikke inkluderet.

Forventningen til den løbende udbygning med solceller på tage er grundlæggende baseret på Energinets *Analyseforudsætninger 2016*, men er dog nedjusteret til 80 pct. af forudsætning-

Klimarådet.

gernes husstands anlæg og 50 pct. af forudsætningernes kommercielle anlæg på tage. Nedjusteringen skyldes blandt andet PSO-udfasningen, der har indvirkning på incitamentet til investering i solceller.

Følsomhedsanalyser

Der er for begge hovedscenarier foretaget i alt fire følsomhedsanalyser for at belyse usikkerheder i forbindelse med en række af analysens centrale forudsætninger om udbygningen med vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen:

- **Grøn omverden:** Der anvendes brændselspriser fra IEA's *450 ppm scenario*, hvori brændselspriserne er lavere end i *New Policies Scenario*, samt Energistyrelsens høje forløb for CO₂-kvotepris i *Basisfremskrivning 2017*. Disse ændringer skal repræsentere en omverden, der går i en mere grøn retning med lavere efterspørgsel efter fossile brændsler og et reformeret kvotemarked med højere kvotepriser.
- **Billigere vind og sol:** Kapitalomkostninger til vind og sol reduceres med 10 pct. og svarer dermed til det nedre priseniveau i Energistyrelsen og Energinets teknologikatalog. Dette scenarie er medtaget, da teknologiudviklingen kan vise at gå hurtigere, end vi forventer i dag.
- **Intet loft for vind og sol:** Loftet for maksimal årlig udbygning med vind og sol fjernes. Der bibeholdes dog stadig en maksimal kapacitet for den samlede mængde vindmøller, der kan placeres på land. Formålet med denne følsomhedsanalyse er at undersøge betydningen af antagelserne om VE-begrænsningerne.
- **Samfundsøkonomisk optimering:** Udbygningen med vedvarende energi og driften af el- og fjernvarmeforsyningen optimeres efter samfundsøkonomi og ikke selskabsøkonomi. Dette scenarie vil vise, hvad der er den for samfundet billigste omstilling mod 2030, hvis regulering og afgifter kan tilpasses frit.

2.4 Centrale usikkerheder

Da analysen inkluderer en række forudsætninger og antagelser om fremtidige forhold som teknologi- og brændselspriser, der hver især er behæftet med usikkerhed, vil resultaterne også være behæftet med en vis usikkerhed. Analysen giver dog et kvalificeret bud dels på størrelsesordenen for den nødvendige udbygning for at nå regeringens 50 pct. VE-mål henholdsvis 55 pct. i 2030, dels omkostningerne ved at stile mod et højere mål i 2030. Derudover giver analysen også et bud på, i hvilket omfang forskellige VE-teknologier har behov for støtte frem mod 2030 givet den forventede teknologiske udvikling og de fremtidige elpriser.

Særligt udviklingen inden for datacentre vil kunne få en stor betydning for den nødvendige udbygning med vedvarende energi. Datacentre forbruger store mængder el, og den nødvendige udbygning med vedvarende energi skal derfor stige væsentligt for hvert datacenter, der etableres i Danmark. Ifølge VMM'en⁸ for Apple's datacenter i Viborg forventer COWI og Viborg Kommune, at datacentret vil få et årligt elforbrug på ca. 1,24 TWh. Som et eksempel vil det kræve ca. 400 MW landvind at producere denne mængde strøm årligt. Antallet af datacentre, der placeres i Danmark, kan dermed få en stor betydning for den nødvendige udbygning med vedvarende energi. I basisfremskrivningens grundforløb er inkluderet et årligt elforbrug til datacentre på 4,92 TWh i 2030, svarende til elforbruget fra fire datacentre af samme størrelse som Apple's datacenter i Viborg. I denne analyse er ikke regnet med yderligere datacentre end de, der er medtaget i basisfremskrivningen.

⁸ *Datacenter og ny højspændingsstation ved Foulum - VVM og miljøvurdering*, COWI og Viborg Kommune, 2016.

I vurderingen af behovet for støtte til vedvarende energi frem til 2030 er elprisen og teknologiernes afregningspriser naturligvis afgørende. Fremskrivningen af elprisen er i analysen et resultat af modelkørslerne i Balmorel. Fremskrivningen er behæftet med usikkerhed, da den er afhængig af mange forskellige faktorer som brændsels- og CO₂-priser, politiske målsætninger samt udviklingen i elforbrug og andel af vedvarende energi i Danmark og omkringliggende lande. Desuden afhænger spørgsmålet om, hvorvidt de enkelte teknologier vil kunne klare sig uden støtte inden 2030, i høj grad af investorers forventninger til elpriserne frem til 2050 eller mere.

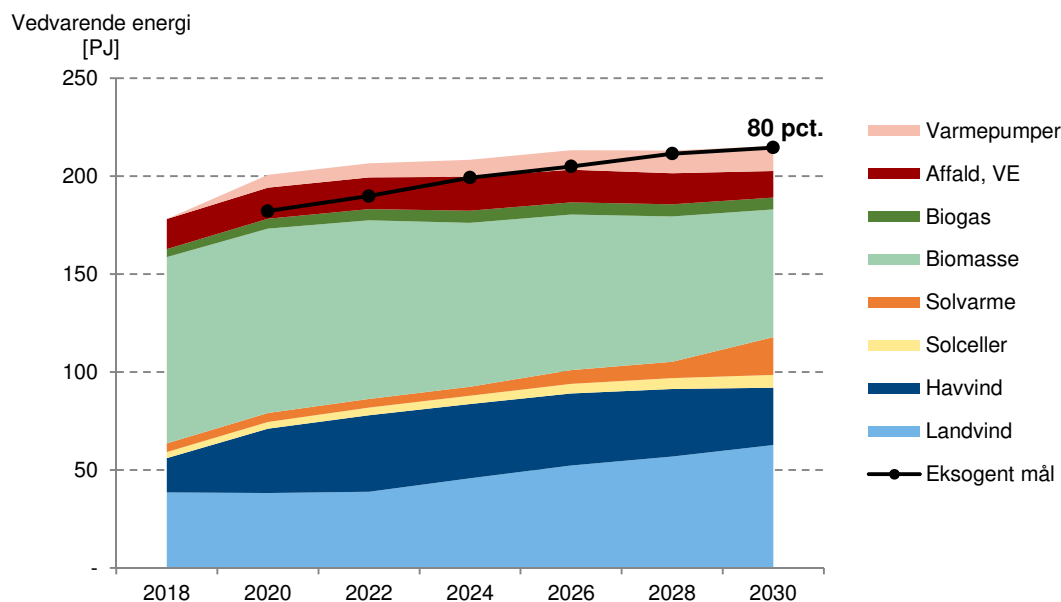
3 Resultater

I *50 pct. scenariet* skal andelen af vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen som minimum udgøre 80 pct., for at det samlede VE-mål på 50 pct. i 2030 nås. I Figur 8 er vist el- og fjernvarmeproduktionen fra vedvarende energikilder for *50 pct. scenariet* samt det eksogene krav til VE-andelen i el- og fjernvarmeforsyningen, der starter i 2020 og som minimum sikrer en lineær udvikling mod 80 pct. i 2030.

I *50 pct. scenariet* er det eksogene krav til VE-andelen i el- og fjernvarmeforsyningen først bindende hen imod 2030. I størstedelen af perioden er den planlagte udbygning med vedvarende energi samt de eksisterende afgifter og tilskud, udfasningen af PSO'en og den forudsatte halvering af elvarmeafgiften tilstrækkelig til at drive investeringer i ny vedvarende energi i et omfang, så det eksogene krav overopfyldes. Først i slutningen af perioden bevirker kravet, at modellen tvinges til at foretage investeringer i vedvarende energi, der ikke er selskabsøkonomisk optimale uden yderligere støtte. Selvom størstedelen af den nødvendige udbygning for at nå VE-målet på 50 pct. ifølge modellen vil ske uden nye politiske tiltag,⁹ vil det dog kræve nye tiltag at nå helt op til 50 pct.

I *55 pct. scenariet* skal andelen af vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen som minimum udgøre 92 pct. for at det samlede VE-mål på 55 pct. i 2030 nås. I dette scenarie er det eksogene krav til VE-andelen i el- og fjernvarmeforsyningen bindende allerede fra 2024. Ønskes som minimum en lineær udvikling mod en VE-andel i 2030 på 92 pct., vil dette således kræve nye politiske tiltag med virkning fra 2024. I Figur 9 er vist el- og fjernvarmeproduktionen fra vedvarende energikilder i *55 pct. scenariet* og det højere eksogene krav til VE-andelen i el- og fjernvarmeforsyningen.

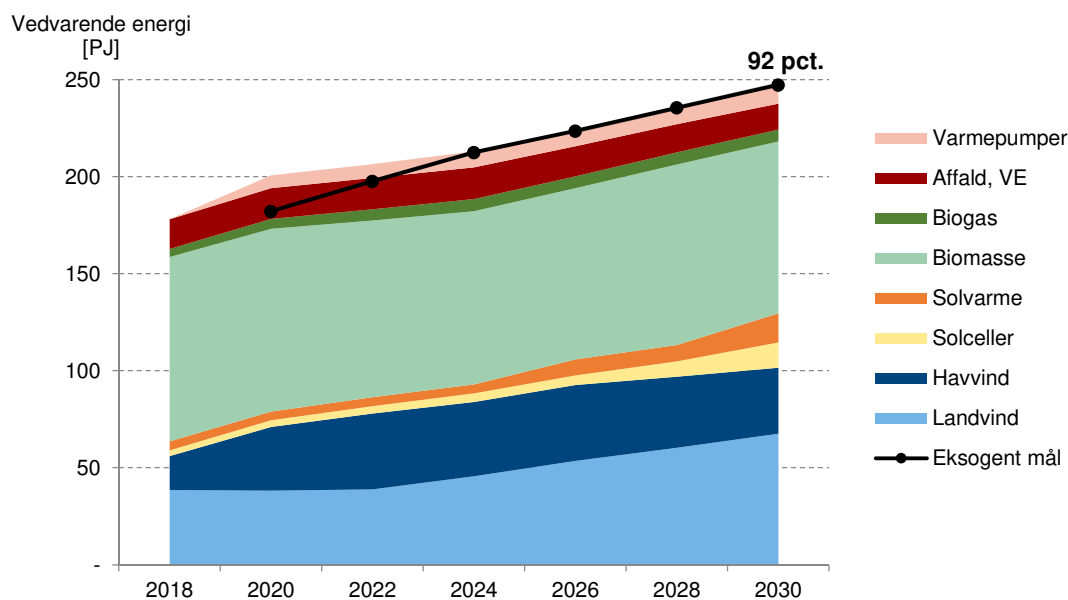
⁹ Når der ses bort fra den antagede halvering af elvarmeafgiften, som endnu kræver politisk vedtagelse på den anden side af 2020, og de virkemidler, der er nødvendige for at implementere Klimarådets omstillingslementer.



Figur 8 Udvikling i vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen frem mod 2030 ved et samlet VE-mål på 50 pct.

Anm.: Den sorte linje viser kravet i modellen til en stadigt højere VE-andel frem mod 2030, hvor el og fjernvarmen skal være baseret på 80 pct. VE for at nå et samlet mål om 50 pct. VE for hele økonomien. I figuren vises for varmepumper den del af varmeproduktionen, som stammer fra omgivelsesvarme.

Kilde: EA Energianalyse.



Figur 9 Udvikling i vedvarende energi i el- og fjernvarmeforsyningen frem mod 2030 ved samlet et VE-mål på 55 pct.

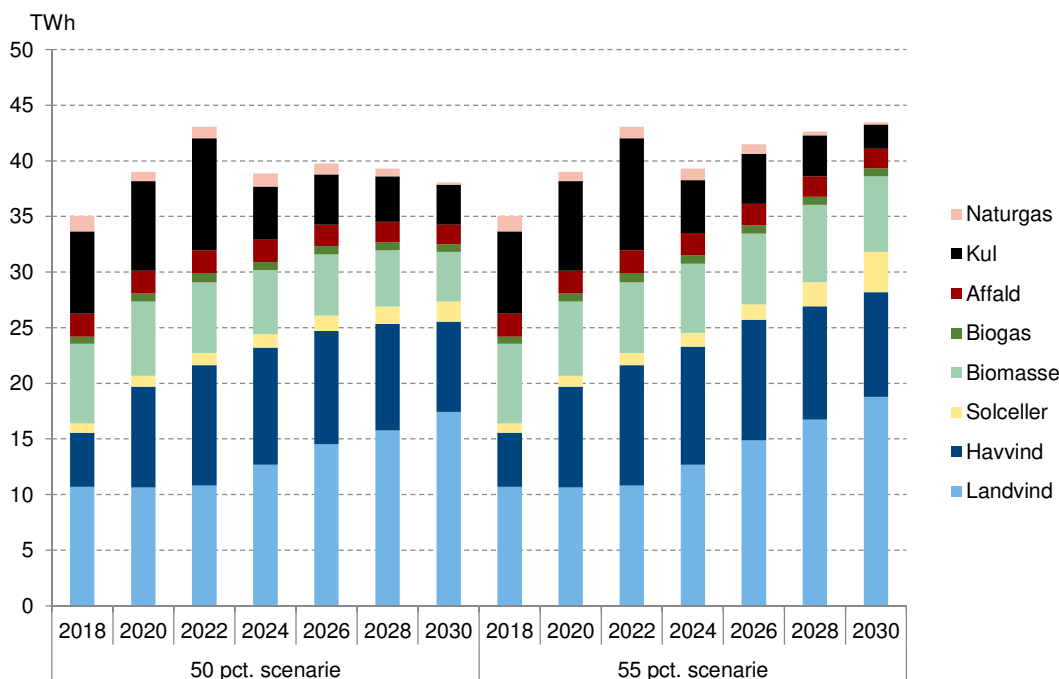
Anm.: Den sorte linje viser kravet i modellen til en stadigt højere VE-andel frem mod 2030, hvor el og fjernvarmen skal være baseret på 92 pct. VE for at nå et samlet mål om 55 pct. VE for hele økonomien. I figuren vises for varmepumper den del af varmeproduktionen, som stammer fra omgivelsesvarme.

Kilde: EA Energianalyse.

3.1 El- og fjernvarmeproduktion

Elproduktion

I de to hovedscenarier sker en løbende udfasning af kul og naturgas i elproduktionen til fordel for primært landvind, havvind og sol og i *55 pct. scenariet* også noget biomasse. Elproduktionen i de to hovedscenarier er vist i Figur 10.



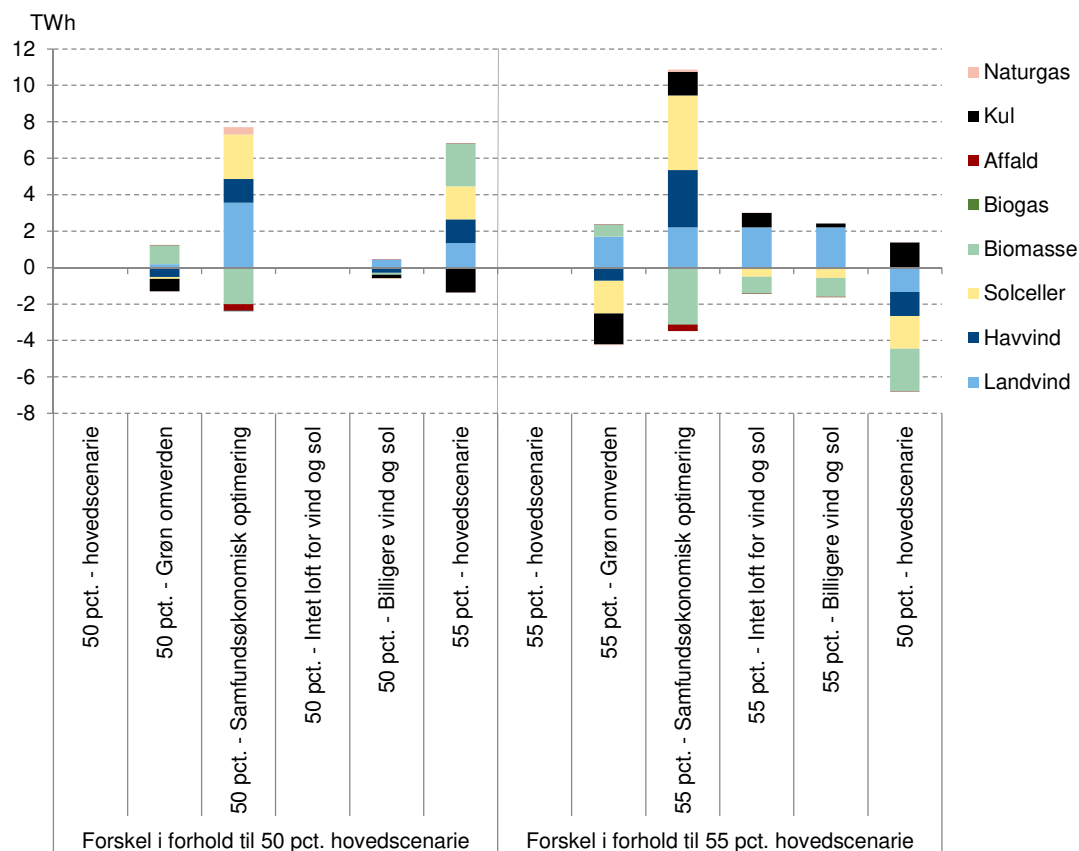
Figur 10 Elproduktion fordelt på energikilder i de to hovedscenarier

Kilde: EA Energianalyse.

Hverken kul eller naturgas er fuldstændigt udfaset i 2030, og en delmængde af affaldet anvendt i affaldsforbrænding er også fossilt. Elproduktionen er i 2030 dermed ikke fuldt baseret på vedvarende energikilder i nogen af de to hovedscenarier. I *55 pct. scenariet* er næsten al naturgas udfaset, og den tilbageværende fossile del består således altovervejende af kul og ikke-vedvarende affald.

I *55 pct. scenariet* begrænses muligheden for elimport af det høje krav til VE-andelen i el- og fjernvarmeforsyningen. Begrænsningen skyldes, at importeret el regnes som fossilt i EU's metode for opgørelse af VE-andelen, også selv om noget af den importerede el er produceret ved vedvarende energikilder. I *55 pct. scenariet* sker derfor en større elproduktion i Danmark end i *50 pct. scenariet*. Behovet for øget elproduktion opfyldes i *55 pct. scenariet* ved investeringer i primært biomassefyret kraftvarmekapacitet og solceller, hvorimod yderligere investering i landvind i forhold til *50 pct. scenariet* er begrænset af det årlige loft for udbygning, som rammes i flere år allerede i *50 pct. scenariet*. Elimport finder ofte sted i timer, hvor elproduktionen fra vindmøller i Danmark er lav som følge af lave vindhastigheder. Når mulighederne for elimport begrænses, kan yderligere investeringer i vindmøller eller andre fluktuerende energikilder ikke erstatte elimporten i alle timer, og investering i regulerbar kapacitet i form af biomassefyret kraftvarme kan derfor blive nødvendig.

Figur 11 viser i venstre side elproduktionen i 2030 i følsomhedsanalyserne for *50 pct. scenariet* relativt til elproduktionen i hovedscenariet. I figurens højre side er vist en tilsvarende sammenligning for *55 pct. scenariet*. Derudover viser figuren også, hvordan de to hovedscenarier relaterer sig til hinanden.



Figur 11 Sammenligning af hovedscenariernes elproduktion i 2030 med hinanden og med deres respektive følsomhedsscenarier

Anm.: Søjlerne længst til højre i hver halvdel af figuren viser sammenligningen af hovedscenarierne.

Kilde: EA Energianalyse.

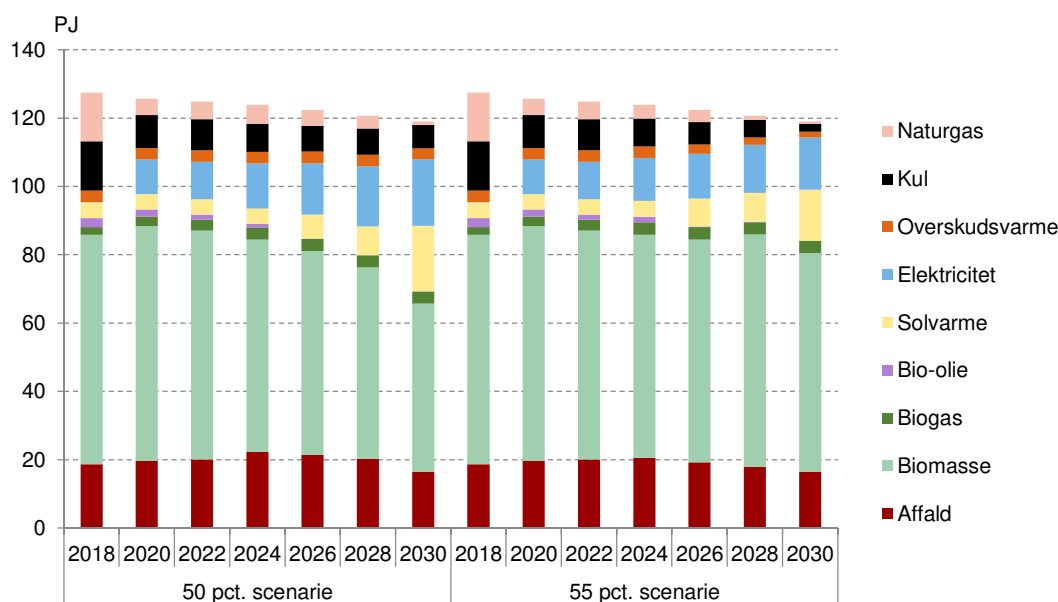
For *50 pct. scenariet* medfører følsomhedsanalyserne *Grøn omverden* og *Billigere vind og sol* kun mindre ændringer i elproduktionen, mens *Intet loft for vind* næsten ingen indvirkning har herpå. *Samfundsøkonomisk optimering* medfører derimod en væsentlig større elproduktion fra landvind og solceller, en mindre stigning i produktionen fra havvindmøller samt en reduktion i produktion fra biomasse. Den øgede produktion fra havvind skyldes ikke større investeringer i havvind, men er derimod et udtryk for, at behovet for at nedregulere havvindmøllerne i timer med for meget strøm i elnettet er mindre end i *50 pct. scenariet*. Desuden ses, at der i *Samfundsøkonomisk optimering* samlet set sker en større elproduktion end i *50 pct. scenariet*. Denne stigning i elproduktion i Danmark modsvares af en ca. 2,5 TWh mindre import af el fra udlandet i 2030 og et større elforbrug til varmepumper.

For *55 pct. scenariet* ses den største variation i følsomhedsanalysen med *Samfundsøkonomisk optimering*, hvor investeringer i landvind, havvind og solceller øges betydeligt på bekostning af investeringer i biomassefyret kraftvarme, der i denne følsomhedsberegning ikke favoriseres afgiftsmæssigt på samme vis som i den selskabsøkonomiske optimering.

Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktionen er allerede i dag i stort omfang baseret på biomasse. Et stort antal af de danske værker er omstillet fra fossile brændsler til biomasse, og disse værker er derfor i en vis grad allerede fastlåst i anvendelsen af biomasse til varmeproduktion frem mod 2030.

I de to hovedscenarier sker en løbende udfasning af kul, naturgas og biomasse i fjernvarmeproduktionen til fordel for primært solvarme og varmepumper. Fjernvarmeproduktionen i de to hovedscenarier er vist i Figur 12. I modelkørslerne er afgiften på el til opvarmning halveret fra 2020, hvilket bevirker, at modellen investerer i varmepumper.



Figur 12 Fjernvarmeproduktion fordelt på energikilde i de to hovedscenarier

Anm: I kategorien *Elektricitet* indgår varmepumper og elpatroner, hvoraf førstnævnte står for langt størstedelen af varmeproduktionen.

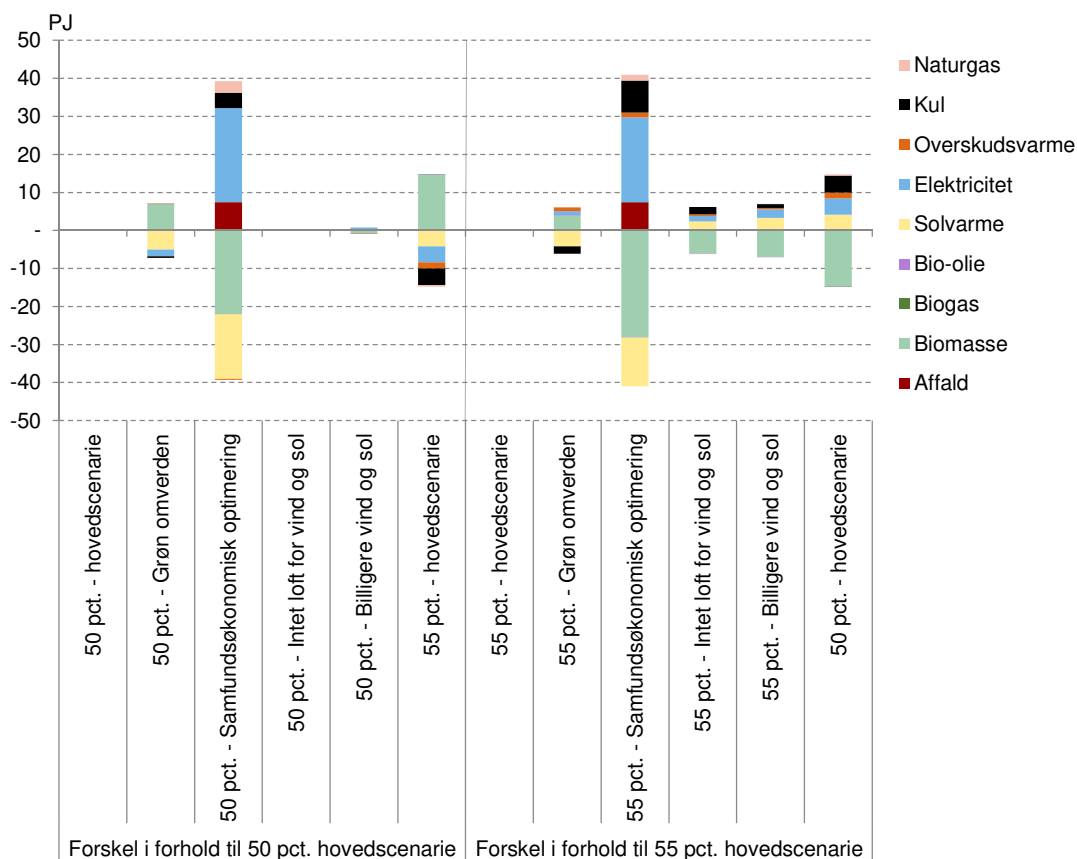
Kilde: Ea Energianalyse.

I *55 pct. scenariet* foretages færre investeringer i solvarmeanlæg i forhold til *50 pct. scenariet*. Den reducerede varmeproduktion fra solvarmeanlæggene erstattes i *55 pct. scenariet* af varmeproduktion fra biomassefyrede anlæg, der i forvejen bidrager til at dække fjernvarmeforbruget om vinteren, hvor solvarmen ikke bidrager nævneværdigt. Når investeringerne i disse biomassefyrede anlæg er foretaget, er fjernvarmeproduktion fra disse værker billigere end investering i nye solvarmeanlæg.

I *55 pct. scenariet* investeres også i færre varmepumper end i *50 pct. scenariet*. Dette er blandt andet et resultat af de øgede investeringer i biomassefyret kraftvarmekapacitet, som i scenariet er nødvendigt for at dække den reducerede elimport, der som nævnt begrænses af det højere krav til VE-andelen. Når investeringen i biomassefyret kraftvarmekapacitet er foretaget, er fjernvarmeproduktion på disse værker billigere end investering i varmepumper med tilhørende elproduktion til drift af pumperne.

Figur 13 viser i venstre side fjernvarmeproduktionen i 2030 i følsomhedsanalyserne for *50 pct. scenariet* relativt til fjernvarmeproduktionen i hovedscenariet, mens figurens højre side viser en tilsvarende sammenligning for *55 pct. scenariet*. Derudover viser figuren også, hvordan de to hovedscenarier relaterer sig til hinanden.

Ved at hæve VE-målet fra 50 pct. til 55 pct. i hovedscenarierne, hvor optimeringen foretages selskabsøkonomisk, baseres en større del af fjernvarmeproduktionen på biomasse. Optimeres el- og fjernvarmeforsyningen derimod samfundsøkonomisk, investeres modsat i en betydeligt større varmepumpekapacitet, og anvendelsen af biomasse reduceres markant. I følsomhedsanalysen med samfundsøkonomisk optimering af 55 pct. scenariet anvendes samlet set mindre biomasse end i 50 pct. scenariet, der er selskabsøkonomisk optimeret. Det er således muligt at hæve VE-målet fra 50 til 55 pct. uden at øge brugen af biomasse i el- og fjernvarmeforsyningen, hvis afgifter og regulering justeres.



Figur 13 Sammenligning af hovedscenariernes fjernvarmeproduktion i 2030 med hinanden og med deres respektive følsomhedsscenarioer

Anm.: Søjlerne længst til højre i hver halvdel viser sammenligningen af hovedscenarierne.

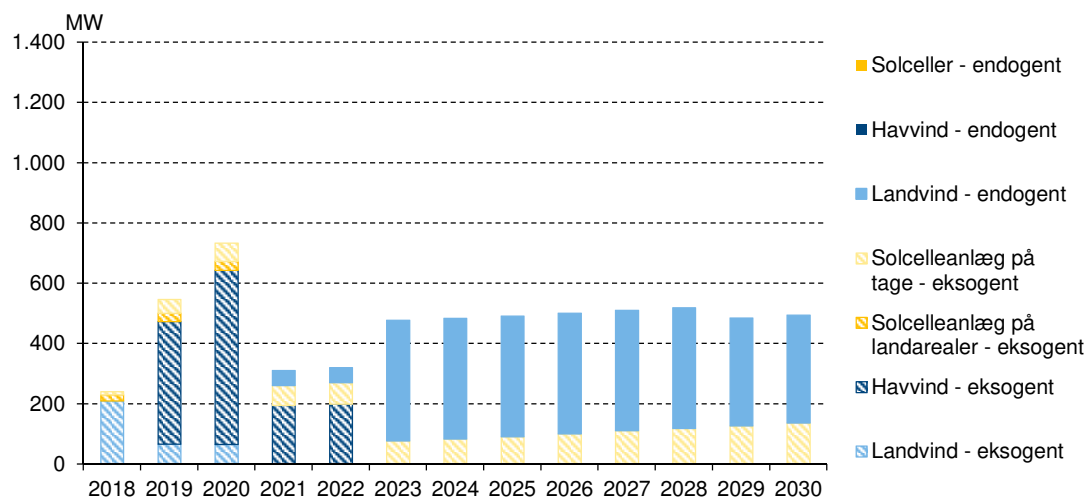
Kilde: EA Energianalyse.

3.2 Udbygning med vedvarende energi

I alle scenarierne ses et betydeligt behov for årlig udbygning med vedvarende energi, hvilket blandt andet skyldes, at en stor del af de eksisterende vindmøller, der er idriftsat inden 2005, forventes at nå deres tekniske levetid i perioden fra 2020 til 2030. Udbygningen med vedvarende energi frem mod 2030 skal derfor også erstatte nedtagningen af disse vindmøller.

I Figur 14 til 16 nedenfor vises udbygningen med landvind, havvind og sol for de to hovedscenarier samt for følsomhedsanalysen med samfundsøkonomisk optimering ved et VE-mål på 55

pct. Der skelnes mellem udbygning, der eksogent lægges ind, da denne allerede er planlagt eller på anden vis forventet, og udbygning, som optimeres endogent i modellen.



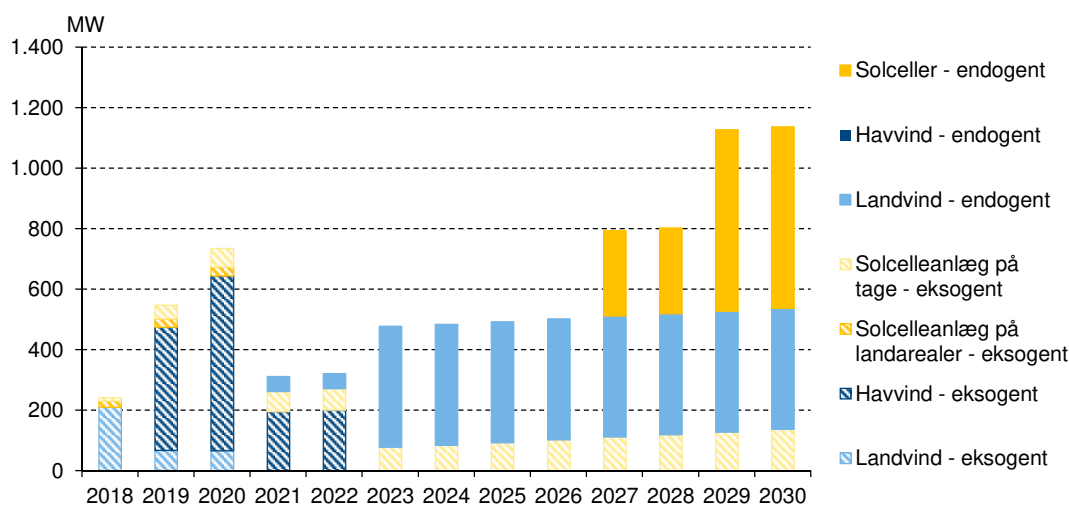
Figur 14 Udbygning med landvind, havvind og solceller frem mod 2030 i 50 pct. scenariet

Anm.: 1 MW giver ikke samme produktion på tværs af teknologier. Fx producerer 1 MW landvind ca. tre gange så meget som 1 MW solceller, mens 1 MW havvind producerer lidt mere end 1 MW landvind

Kilde: EA Energianalyse.

Figur 14 viser, at det i 50 pct. scenariet udelukkende er landvind, som modellen er nødt til at udbygge med for at nå VE-målet. Det skyldes, at landvind er billigere end alternativer som solceller og havvind. Samtidig viser beregningerne, at udbygningen med landvind i en del år rammer det årlige loft på 400 MW. Det skal understreges, at en model som Balmorel ikke tager højde for, at der kan være forskelle i omkostninger mellem projekter inden for samme teknologi, og derfor er det sandsynligvis optimalt med en mere balanceret udbygning med flere forskellige teknologier end vist i Figur 14.

55 pct. scenariet kræver yderligere udbygning med vedvarende energi, og når loftet for landvind er ramt, går modellen videre til den næst billigste vedvarende teknologi, nemlig solceller. Det er vist i Figur 15, hvor Balmorel udbygger endogent med sol fra 2027.

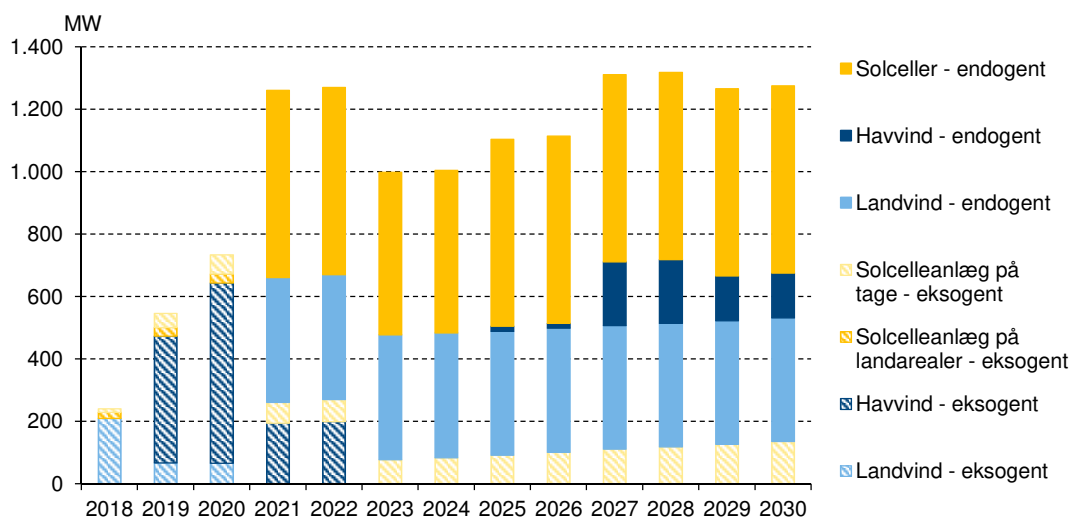


Figur 15 Udbygning med landvind, havvind og solceller frem mod 2030 i 55 pct. scenariet

Anm.: 1 MW giver ikke samme produktion på tværs af teknologier. Fx producerer 1 MW landvind ca. tre gange så meget som 1 MW solceller, mens 1 MW havvind producerer lidt mere end 1 MW landvind

Kilde: EA Energianalyse.

Figur 16 viser udbygningen i det mest interessante af følsomhedsscenerierne, nemlig *Samfundsøkonomisk optimering* ved et 55 pct. VE-mål. Her ses en markant større udbygning end i Figur 15. Det skyldes blandt andet, at modellen nu, hvor der ikke er afgifter på el, opprioriterer varmepumper på bekostning af biomassebaseret varmeproduktion, og varmepumpernes elforbrug kræver investering i ny kapacitet. Den nye kapacitet er især solceller, men også havvind, når solcelleudbygningen rammer sit loft.



Figur 16 Udbygning med landvind, havvind og solceller frem mod 2030 i 55 pct. scenariet med samfundsøkonomisk optimering

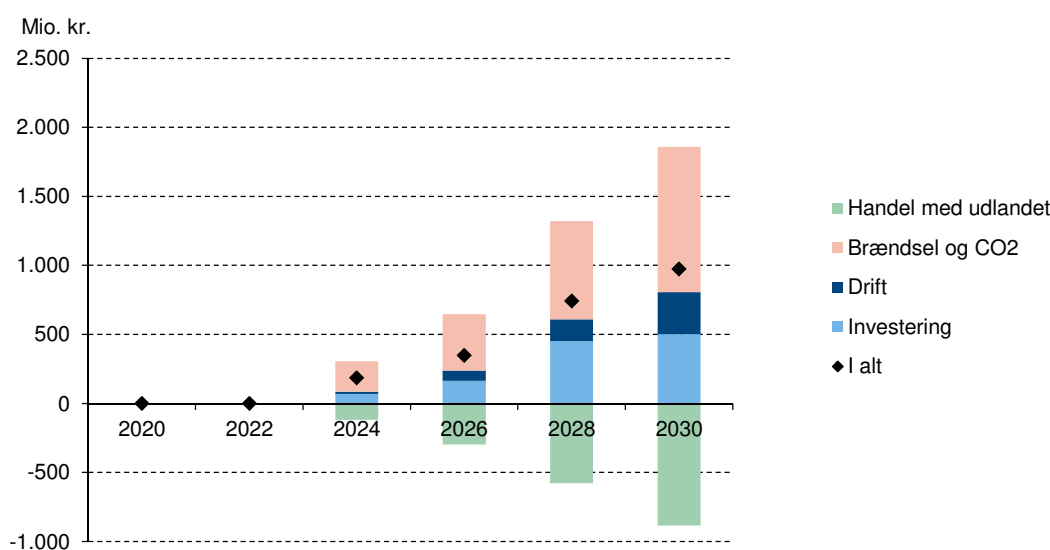
Anm.: 1 MW giver ikke samme produktion på tværs af teknologier. Fx producerer 1 MW landvind ca. tre gange så meget som 1 MW solceller, mens 1 MW havvind producerer lidt mere end 1 MW landvind

Kilde: EA Energianalyse.

3.3 Meromkostning ved et højere VE-mål

Ea Energianalyse har for Klimarådet beregnet, hvad den samfundsøkonomiske meromkostning er for Danmark ved at øge kravet til VE-andelen i 2030 fra 50 til 55 pct. Denne meromkostning omfatter de ekstra udgifter til især investering og brændsler, som de vedvarende teknologier har sammenlignet med de fossile alternativer.

Meromkostningen dækker perioden fra 2020 til 2030, idet beregningerne antager, at VE-andelen skal holde sig over et lineært stigende krav frem mod 2030, som vist i Figur 8 og Figur 9. Beregningerne viser, at dette krav bliver bindende fra og med 2024 ved et mål om 55 pct. VE i 2030, hvilket betyder, at der fra 2024 er en meromkostning ved det højere endemål i 2030. Den samlede meromkostning er summen af meromkostningen de enkelte år tilbagediskonteret til 2017.



Figur 17 Årlige samfundsøkonomiske ekstraomkostninger ved at gå fra 50 til 55 pct. vedvarende energi

Anm.: Balmorel regner i denne analyse kun hvert andet år. Tallene er opgjort i reale 2016-priser. Den positive værdi af kategorien *Brændsel og CO₂* dækker i figuren over en merudgift til brændsler og en reduceret udgift til køb af CO₂-kvoter.

Kilde: Ea Energianalyse.

Figur 17 viser de årlige samfundsøkonomiske meromkostninger ved at øge VE-målet i 2030 fra 50 til 55 pct. fordelt på udgiftsposter. Omkostningerne vokser fra 2024 frem mod 2030 som følge af, at det højere mål i stigende grad tvinger el- og fjernvarmesektoren til at anvende vedvarende energi. Meromkostningen består især af øgede investeringer til blandt andet vindmøller og solceller, men også øgede brændselsomkostninger til biomasse fylder en del. Omvendt vil Danmark med mere vedvarende energi eksportere mere grøn strøm til udlandet, hvilket resulterer i øget indtjening fra udenrigshandelen med el.

Tabel 3 opsummerer den samlede samfundsøkonomiske nutidsværdi ved at øge VE-målet i 2030 fra 50 til 55 pct. for både hovedscenariet og de fire følsomhedsscenarier. I hovedscenariet fås en samlet meromkostning på ca. 2,6 mia. kr. over perioden. De fire følsomhedsscenarier reducerer alle dette tal i forskelligt omfang. I *Grøn omverden* gør især den højere CO₂-pris, at øget dansk omstilling er billigere. I *Billigere vind og sol* gør prisfaldet på disse teknologier det naturligvis billigere at omstille mere, mens *Intet loft med vind og sol* muliggør en hurtigere

udbygning med billig landvind. Endelig reducerer *Samfundsøkonomisk optimering* regningen for den ekstra omstilling i beskeden grad.

Scenarie	Meromkostning
Hovedscenarie	2,63 mia. kr.
Grøn omverden	1,39 mia. kr.
Billigere vind og sol	1,71 mia. kr.
Intet loft for vind og sol	1,55 mia. kr.
Samfundsøkonomisk optimering	2,58 mia. kr.

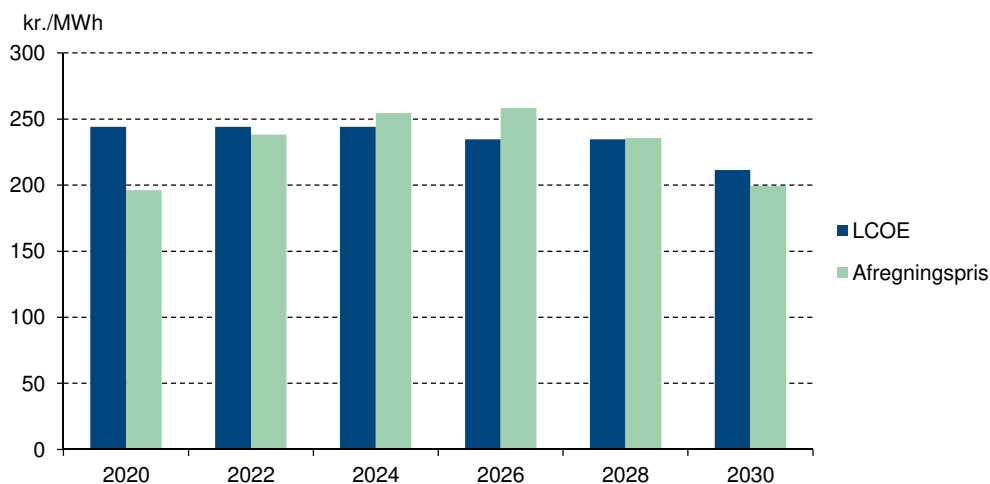
Tabel 3 Samlede samfundsøkonomiske ekstraomkostninger fra 2020 til 2030 ved at gå fra 50 til 55 pct. vedvarende energi målt i 2017-nutidsværdi

Anm.: Tallene er opgjort i reale 2016-priser. Tabellen angiver meromkostningen ved at hæve VE-målet fra 50 til 55 pct., givet forudsætninger i hovedscenarierne og i de forskellige følsomhedsanalyser.

Kilde: Ea Energianalyse.

3.4 Støttebehov for vedvarende energi

Vedvarende energi er historisk i Danmark kun blevet opført med støtte. Støttebehovet afspejles af forskellen mellem et VE-anlægs samlede produktionsomkostninger og den gennemsnitlige afregning, som VE-anlægget kan få i markedet. Omkostningerne falder dog markant i disse år, så der er håb om, at støtten snart kan udfases.



Figur 18 LCOE og afregningspris for landvind

Anm.: Afregningspriserne er for Vestdanmark i 55 pct.-scenariet. Priserne i 50 pct.-scenariet er dog kun marginalt forskellige. Afregningspriserne er angivet for et anlæg opstillet i det konkrete år. Ældre anlæg vil typisk have lidt lavere afregningspris.

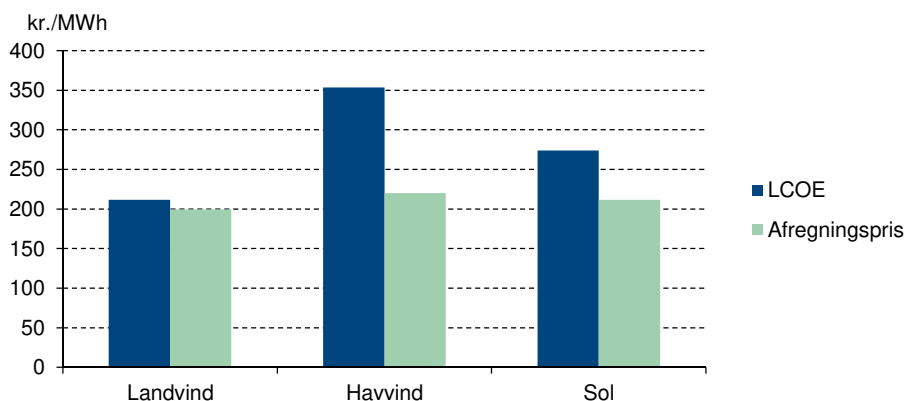
Kilde: Ea Energianalyse.

Den billigste VE-teknologi til produktion af el er landvind. Figur 18 viser landvinds produktionsomkostninger målt som LCOE sammenholdt med den gennemsnitlige afregningspris. LCOE står for *levelised cost of energy* og angiver de samlede omkostninger i et anlægs levetid målt pr. produceret MWh. LCOE falder over tid i takt med den teknologiske udvikling, men i modelkørslerne er medregnet tre fald i omkostningerne over perioden fra 2020 til 2030. Af-

Klimarådet.

regningsprisen udtrykker, hvad et VE-anlæg i gennemsnit tjener pr. produceret MWh over året, og prisen vil være højere, jo bedre anlægget er til at producere i timer, hvor elprisen er høj. Derfor varierer afregningsprisen på tværs af teknologier, og derudover vil nyere anlæg typisk have en højere afregningspris, fordi nye vindmøller typisk er bedre til at producere i timer med lidt vind end ældre vindmøller.

Figur 18 viser, at afregningsprisen for landvind stiger indtil 2026 i takt med, at den generelle elpris stiger. Men herefter falder afregningsprisen igen, primært som følge af øget udbygning med vindkraft i både Danmark og vore nabolande, hvilket presser vindens afregningspris ned. Figuren kan derfor give det indtryk, at landvind kan bygges uden støtte fra 2024 til 2028, men at støtte igen er påkrævet fra 2030. Man skal dog være påpasselig med den konklusion, da en investeringsbeslutning i fx 2024 bygger på forventninger til afregningsprisen de næste 20-30 år frem og ikke kun afregningsprisen i 2024. Derfor er en mere forsigtig konklusion, at der er en mulighed for, at noget landvind fra midt i 2020'erne kan klare sig uden støtte, men at det i høj grad afhænger af forventningerne til prisudviklingen efter 2030. Hvis investorerne forventer, at faldet i afregningsprisen fortsætter efter 2030, vil de næppe investere i landvind uden støtte mellem 2024 og 2028. Og derudover er det vigtigt at huske, at en stor barriere for landvind er den lokale modstand, som investorer møder hos naboer og nogle kommuner, og som kan fordyre projekterne betydeligt.



Figur 19 LCOE og afregningspris for landvind, havvind og solceller i 2030

Anm.: Afregningspriserne er for Vestdanmark i 55 pct.-scenariet. Priserne i 50 pct.-scenariet er dog kun marginalt forskellige.

Kilde: Ea Energianalyse.

Både havvind og sol er dyrere end landvind og er derfor som udgangspunkt længere fra at kunne klare sig uden støtte. Figur 19 zoomer ind på 2030 og viser, at LCOE for havvind og solceller ligger noget over landvind, og selv om havvind og sol begge opnår en lidt højere afregningspris end landvind, er ingen af de to teknologier tæt på at kunne dække deres omkostninger via markedsprisen, hvis afregningsprisen i 2030 tages som udtryk for afregningen de følgende år. Det overordnede billede i Figur 19 ser ikke signifikant anderledes ud i nogen af følsomhedsscenerierne.

En vigtig afsluttende pointe omkring støttebehovet i Danmark er, at det i høj grad afhænger af VE-mål og VE-støtte i vore nabolande. I en verden uden VE-støtte er elpriserne generelt højere, hvorfor man typisk vil se, at noget VE kan opføres på markedsvilkår. Denne mængde VE er dog sjældent nok til at opfylde landenes klimamål, og derfor er støtte nødvendig. Øget VE-udbygning presser elprisen ned, hvilket yderligere forstærker støttebehovet. Derved kan ambitiøse klimamål bidrage til at udskyde det tidspunkt, hvor VE kan klare sig uden støtte. I mod-

Klimarådet.

sat retning trækker dog, at ambitiøse klimamål kan accelerere teknologiudviklingen og dermed være med til at sænke VE-omkostningerne.

3.5 Højere VE-mål end 55 pct.

Analysens resultater viser, at det er muligt at nå 55 pct. vedvarende energi i 2030 ved at øge omstillingshastigheden i el- og fjernvarmeforsyningen, og at de samfundsøkonomiske omkostninger ved denne acceleration er forholdsvis begrænsede. Denne konklusion forudsætter, at udviklingen i energiforbrug og VE-andel i sektorerne uden for el- og fjernvarmeforsyningen følger analysens forudsætninger.

Arbejdet med analysen har vist, at et højere mål end 55 pct. vedvarende energi i 2030 kan medføre en række u hensigtsmæssigheder, hvis de yderligere pct. point skal findes i el- og fjernvarmeforsyningen. Dette skyldes, at el- og fjernvarmeforsyningen allerede ved et VE-mål på 55 pct. er næsten fuldt omstillet til vedvarende energi bortset fra en mindre del kul samt anvendelse af overskudsvarme fra affaldsforbrænding og fra andre fossile energikilder anvendt i blandt andet produktionsprocesser. Såfremt VE-andelen i el- og fjernvarmeforsyningen skal øges betydeligt, er det foruden udfasningen af kul også nødvendigt at begrænse anvendelsen af overskudsvarme blandt andet gennem bortkøling¹⁰ af varme fra affaldsforbrænding. Selv om en delmængde af overskudsvarmen er baseret på fossile brændsler eller fossilt affald, er en begrænsning i anvendelsen heraf ikke fordelagtig i forhold til klimaet, da varmen er et overskudsprodukt, der er til stede, uanset om det anvendes eller ej. Udledningen af drivhusgasser fra affaldsforbrændingen og produktionsprocesserne i industrien må derfor formodes at finde sted, uanset om overskudsvarmen anvendes eller ej.

Modelkørslerne viser desuden, at hvis en forøgelse af VE-målet fra 55 pct. til fx 60 pct. skal ske gennem tiltag i el- og fjernvarmeforsyningen, vil det kræve, at Danmark bliver nettoeksportør af el produceret fra vedvarende energikilder som vind, sol eller biomasse. Produktion af denne el tæller, selv om den eksporteres til udlandet, med i opgørelsesmetoden for andelen af vedvarende energi. At Danmark bliver nettoeksportør af el, er der i forhold til dette aspekt ikke noget galt i. Det er dog Klimarådets opfattelse, at et mål for 2030 hellere skal bidrage til omstillingen af energiforbruget i Danmark.

Ønsker man at stile mod en VE-andel på fx 60 pct., bør fokus for potentielle yderligere klimatiltag derfor være på sektorerne uden for el- og fjernvarmeforsyningen, herunder i særdeleshed transport og produktionserhverv. Den i analysen forudsatte udvikling i VE-andelen i disse sektorer vurderes, som nævnt, allerede at inkludere de mest relevante potentialer og tiltag. Eftersom de inkluderede tiltag ikke udgør en udtømmende liste over omstillingsmuligheder i sektorerne uden for el- og fjernvarmeforsyningen, vil der dog eksistere andre mulige tiltag, der kan bidrage til en højere VE-andel frem mod 2030. Det kan derfor ikke konkluderes, at en højere VE-andel end 55 pct. ikke er mulig at nå i 2030.

En VE-andel på 60 pct. vurderes dog at være svær at nå inden 2030. Dette skyldes dels, at el- og fjernvarmeforsyningen, som beskrevet, allerede ved et VE-mål på 55 pct. er omstillet i en grad, hvor yderligere krav kan medføre en række begrænsninger, der ikke gavner klimaet, og dels, at det vurderes at være svært at omstille sektorerne uden for el- og fjernvarmeforsyningen betydeligt mere inden 2030, end det forudsættes i analysen.

¹⁰ Bortkøling er nødvendigt i situationer, hvor varmeproduktionen overstiger varmeforbruget og hvor lagringsmuligheder er begrænsede. Når varmen dermed ikke kan afsættes, bortkøles denne til kilder som havet, søer eller luften.