



ANALYSE NR. 28 | 12. OKTOBER 2017

Lad energisektoren løfte Danmarks klimaindsats

Bidrag til opfyldelse af klimamål 2021-30 ved
grøn omstilling af transport, erhverv og opvarmning

Analyse af reduktionspotentialer og omkostninger ved forskellige tiltag inden for energi- og transportsektoren, der kan nedbringe CO₂-udledningerne uden for kvotesektoren og hermed bidrage til at opfylde Danmarks klimaforpligtelser i perioden 2021-2030.

Publikation

Lad energisektoren løfte Danmarks klimaindsats

Bidrag til opfyldelse af klimamål 2021-30 ved grøn omstilling af transport, erhverv og opvarmning
12. oktober 2017.

Kontaktinformation

Morten Stryg
mst@danskenergi.dk
Telefon +45 35300489

Martin Lundrup
mal@danskenergi.dk
Telefon +45 35300453

Indhold

1	Resumé	5
2	Indledning	10
2.1	Baggrund – Danmark skal reducere drivhusgasser uden for kvotesektoren frem mod 2030	10
2.2	Analysens formål: Vejen til klimamålet uden for kvotesektoren	13
2.3	Læsevejledning	15
3	Metode	17
3.1	CO ₂ -reduktion analyseret i rapporten	17
3.2	Sektorer og teknologier i analysen	19
3.3	Beregningsmetode for CO ₂ -skyggepriser.....	20
3.4	Centrale antagelser.....	25
3.5	De største usikkerheder i analysen	27
4	CO₂-skyggepriser i sektorer	28
4.1	Individuel opvarmning	29
4.2	Decentral fjernvarme.....	38
4.3	Erhverv (Produktionserhverv og handel/service)	40
4.4	Persontransport	44
4.5	Tung transport - Lastbiler	47
4.6	Tung transport - Busser	50
5	Oversigt på tværs af sektorer	52
5.1	Indsigter fra MAC-kurven for energi og transport 2021-2030	52
5.2	Energi og transport kan levere den nødvendige ekstra klimaindsats – og til rimelige omkostninger	55
5.3	Elektrificering leverer stor del af CO ₂ -fortrængningen.....	57
5.4	CO ₂ -fortrængningen skal ske over hele perioden	58
5.5	Udledninger i 2030 og frem mod 2050	58
6	Konklusioner, barrierer og anbefalinger	61
6.1	Oliefyr skal hurtigst muligt erstattes med eldrevne varmepumper.....	62
6.2	Mindre naturgas i opvarmning opnås billigst med varmepumper	64
6.3	Biogas er blandt billigste løsninger i tung transport.....	68
6.4	Elbiler kan blive samfundsøkonomisk attraktive.....	71
6.5	Energieffektivisering i erhverv er billigere end i husholdninger	74

7 Følsomhedsscenarier 77

7.1	Scenarieparametre.....	77
7.2	Brændselspriser og elbilspriser har stor betydning for omkostninger til grøn omstilling	81
7.3	Biogas- og elproduktionspris har lav påvirkning på hvilke tiltag der er billigst	83
7.4	Konklusioner på tværs af følsomhedsscenarier	84

8 Appendix 85

8.1	Energibesparelser i husholdninger.....	85
8.2	Biogas eksternaliteter.....	93
8.3	Elbiler	97
8.4	Erhverv.....	104
8.5	Gas til transport.....	107

9 Referencer 109

1 Resumé

CO₂-udledningerne uden for kvotesektoren skal reduceres frem mod 2030 for at opfylde det klimamål, som Danmark har påtaget sig som en del af samarbejdet i EU. Analyserne i denne rapport viser, at elektrificering af transport og opvarmning til fortrængning af olie, naturgas og benzin/diesel spiller den centrale rolle i en omkostningseffektiv klimaindsats suppleret af biogas og energi-effektivisering. Vi skal have de små forbrændingsmotorer og ovne ud og elmotorer og varmepumper ind. En klimapolitik med fokus på at reducere olie og naturgas har samtidig stærk synergi til andre mål, såsom øget VE-andel i 2030 og uafhængighed af fossile brændsler i 2050.

Opfyldelse af klimamål uden for kvotesektoren

Som led i EU's 2030-klima- og energipakke har Danmark påtaget sig en betydelig forpligtelse til at mindske udslippet af skadelige drivhusgasser i de sektorer, som ikke er omfattet af det fælles europæiske kvotemarked – dvs. landbrug, individuel opvarmning, transport, dele af decentral fjernvarme samt industri. Formentligt vil mængden af CO₂-emissioner skulle sænkes med 39 pct. i 2030 i forhold til niveauet i 2005.

Denne rapport undersøger, hvor stort et klimabidrag – og til hvilken omkostning – der kan hentes ved at skifte fyringsolie, naturgas, benzin og diesel ud med el, biomasse, biogas og energibesparelser i individuel opvarmning, decentral fjernvarme, industri, personbiler og tung transport. Et skift, der betyder gradvist farvel til forbrændingsmotoren i vores biler og et hurtigt farvel til oliefyr i vores huse. Desuden undersøges hvilke sektorer og teknologier, der leverer de billigste reduktioner og hvornår, således at man også kan tilrettelægge klimaindsatsen med et blik for hvilke tiltag, der bør igangsættes hurtigt – dvs. i 2020 – og hvilke, der bør indføres mere gradvist mod 2030.

Energi- og transportsektoren kan reducere CO₂-mankoen betragteligt

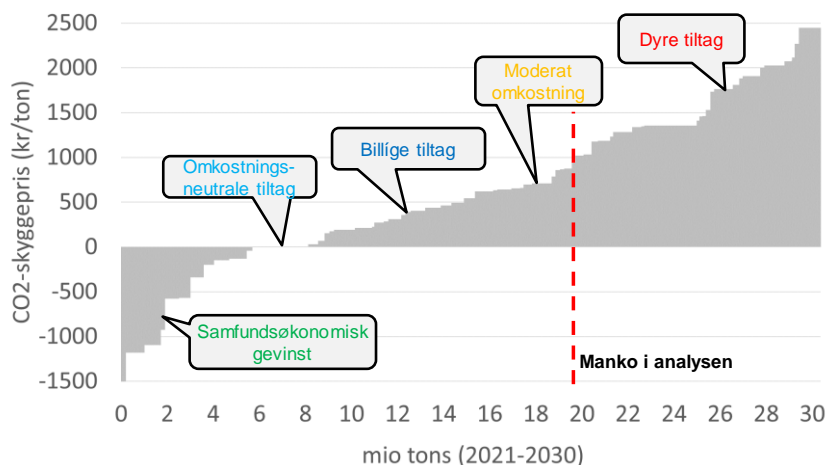
CO₂-fremskrivninger viser, at det vil kræve en ekstra indsats fra dansk side at leve op til den klimaforpligtelse, vi påtager os i medfør af EU-samarbejdet. Det centrale skøn er, at der skal reduceres ekstra 28 mio. ton CO₂ svarende til 2 års udledninger fra transportsektoren. Det kan enten ske gennem tiltag, som nedbringer de hjemlige drivhusgasudledninger, gennem indregning af kulstof-optag i jord og skov (LULUCF-kreditter) og/eller ved at benytte mulighederne for at købe sig til reduktioner i udlandet.

Analysen viser, at ny grøn teknologi til at spare på eller erstatte brugen af fossile brændsler i opvarmning, erhverv og transport kan levere CO₂-reduktioner, som er tilstrækkelige til at opfylde målet, hvis Danmark samtidig vælger at medregne kulstofoptag i skov og jord. De to bidrag kan således hver især dække omkring halvdelen af den nødvendige ekstra drivhusgasreduktion frem mod 2030.

Den grønne omstilling kan samfundsøkonomiske omkostning er rimelig

Endvidere viser analysen, at de nødvendige CO₂-reduktioner kan leveres til rimelige samfundsøkonomiske omkostninger. En række af de analyserede

teknologiskift giver sågar samfundsøkonomisk overskud. Den samlede regning for samfundet ved at gennemføre klimatiltagene er i analysen anslået – med betydelig usikkerhed – til i størrelsesordenen i alt 1,5 mia. kr. over perioden 2021-2030 (ekskl. virkemiddelomkostninger). Det er en afgørende forudsætning for regnestykket, at elbiler (batterier) falder i pris og dermed kan spille en central rolle i at mindske forbruget af benzin og diesel i persontransport. Endvidere hviler konklusionen på stigende priser på fossile brændsler. Hvis ikke de to forudsætninger indfries, kan den samlede regning blive betydeligt højere.



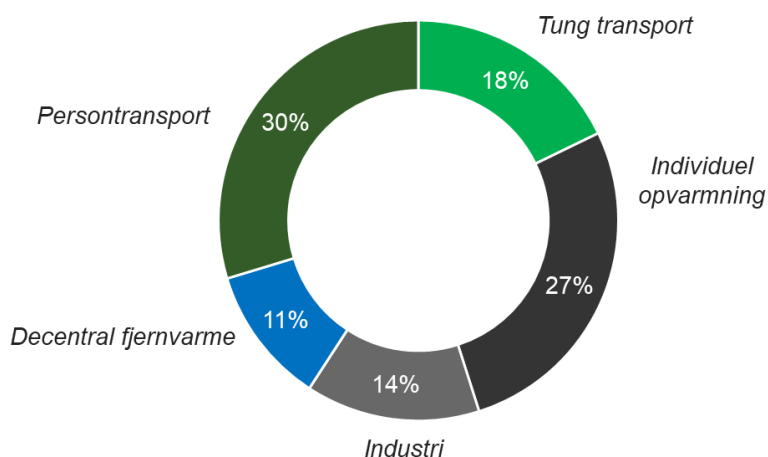
Figur 1. CO₂-fortrængningskurve for tiltag inden for energi- og transportsektoren. Tiltag er sorteret efter billigste CO₂-fortrængning (kr/ton CO₂) sammen med tilhørende fortrængningsmængde (mio ton CO₂) over perioden 2021-2030. Den ca. 20 mio. ton ekstra CO₂-reduktion svarer til ca. 14 mio. ton ekstra set ifht. Basisfremskrivning 2017.

En klimaindsats, som nedbringer fossile brændsler, giver synergier

Analysen viser, at der på en række områder bør iværksættes en tidlig indsats for at reducere brugen af fossile brændsler, da tiltagene enten giver samfundsøkonomisk overskud allerede i dag eller har lave omkostninger. En ambitiøs indsats i perioden 2021-2030 giver samtidig et bedre udgangspunkt for at leve op til de klimaforpligtelser, som kommer efter 2030. Et andet væsentligt argument for ikke at skubbe klimaindsatsen foran sig er, at der er synergi mellem at nedbringe brugen af fossile brændsler i de ikke-kvoteomfattede sektorer og opfyldelse af andre mål – særligt regeringens 50 pct. VE-mål i 2030 og målet om et energisystem uden fossile brændsler i 2050.

Elektrificering af varme og transport er omkostningseffektiv klimapolitik

Analysen viser, at elektrificering af varme- og transportområdet bør spille en hovedrolle i en grøn omstilling af transport, erhverv og opvarmning. Ca. 60 pct. af de billigste CO₂-reduktioner i opvarmning og transport i perioden frem til 2030 stammer fra elektrificering. Dette forudsætter markant flere varmepumper i husholdninger og decentrale fjernvarmeværker. Desuden forudsættes op imod en halv million elbiler at være en del af vejen til at opfylde klimamålet omkostningseffektivt. De øvrige CO₂-reduktioner kommer primært fra biogas i tung transport samt energieffektiviseringer i industri. Dermed kan energi- og transportsektoren løfte en stor del af Danmarks klimamål.



Figur 2. CO₂-reduktionerne 2021-2030 i omkostningseffektiv pakke, fordelt på sektorer.

Konkret finder analysen, at der fremover bør være et særligt fokus på fem tiltag.

Oliefyr bør hurtigst muligt erstattes med eldrevne varmepumper

Udskiftning af olieforbruget i eksisterende oliefyr giver en samfundsøkonomisk gevinst, fordi oliebesparelsen mere end opvejer prisen på at anskaffe og drive en eldrevet luft-vand-varmepumpe. Eldrevne varmepumper er samfundsøkonomisk billigere end træpillefyr, som oftest er den konkurrerende løsning. Privatøkonomisk giver regnestykket dog det modsatte resultat, da der betales en relativ høj elafgift på varmepumper. Endvidere kan finansiering af de høje investeringsomkostninger være en barriere for flere varmepumper.

Mindre naturgas i opvarmning opnås billigst med varmepumper

Der er behov for en gradvis udfasning af naturgas til opvarmning. Mindre naturgas i individuel opvarmning, fjernvarme og industri har moderate CO₂-reduktionsomkostninger, hvis man erstatter naturgas enten med små (individuelle) eller store eldrevne varmepumper (fjernvarme og industri). Dette ser ud til at være en billigere vej til mindre CO₂ end at øge mængden af biogas i naturgasnettet – med mindre biogasomkostningerne falder markant.

Biogas er blandt billigste løsninger i tung transport

Biogas er til gengæld blandt de billigste 2.G-brændstoffer til fortrængning af diesel i tung transport. Analysen peger på lavere omkostninger ved biogas end 2.G.-flydende biobrændstoffer. Biogas i transport har lavere CO₂-reduktionsomkostning end biogas til opvarmning, da det her er diesel frem for naturgas, som fortrænges. Der er behov for et større udvalg af gasdrevne køretøjer samt en udbygning af infrastrukturen for at kunne overtage de tunge transportbehov for lastbiler, der udgør en stor del af det samlede energibehov i tung transport.

Faldende batteripriser gør elbiler samfundsøkonomisk attraktive

Generelt er indkøbsprisen på elbiler, herunder særligt batteri-omkostningen, den væsentligste udfordring for elbilers konkurrencedygtighed med benzin- og dieslbiler. Analysen peger på, at elbiler med kortere batterirækkevidde snart er samfundsøkonomisk billigere end konventionelle biler. Derudover viser analysen, at i takt med det forventede prisfald på batterier vil biler med længere batterirækkevidde også blive samfundsøkonomisk attraktive. Desuden viser analysen, at elbiler med et højt årligt kørselsbehov vil have betydeligt lavere

CO₂-reduktionsomkostninger end elbiler, der kører kort. I analysen er der regnet med CO₂-gevinster fra omkring en halv million elbiler i 2030. Såfremt den samfundsøkonomiske gevinst ved flere elbiler skal høstes, skal de afgiftsmæssige rammer understøtte køb og brug af elbiler.

Energieffektivisering i industrien er billigere end i husholdninger

Analysen viser, at energieffektivisering i industrien kan reducere brugen af naturgas og olie til fx opvarmningsprocesser og hermed levere en betydelig mængde CO₂ reduktioner med forholdsvis lave omkostninger. Der kan både være tale om at mindske slutbehovet for energi samt at konvertere til fx el for at realisere potentialerne.

For energirenoveringer af naturgas- eller olieopvarmede bygninger er billedet mere blandet. Udskiftning af vinduer og tage i forbindelse med renovering af huse er blandt de billige CO₂-reduktionstiltag. En del øvrige energibesparelses-tiltag i husstande har derimod meget høje CO₂-skyggepriser. Dette peger på behovet for især at fokusere indsatsen på erhverv, hvis der skal høstes størst mulig gevinst af indsatsen.

KONKLUSIONER FRA SAMFUNDSØKONOMISK ANALYSE		ANBEFALING
HOVEDKONKLUSION	Energi og transport kan levere den nødvendige ekstra klimaindsats – og til rimelige omkostninger	Elektrificering er centralt i en omkostningseffektiv klimapolitik - dette kræver bl.a. lavere elafgift
	1 Oliefyr skal hurtigst muligt erstattes med eldrevne varmepumper	<ul style="list-style-type: none"> • Erstatning af olie i opvarmning er blandt de billigste samfundsøkonomiske måder at opnå CO₂-reduktioner. • Eldrevne varmepumper er samfundsøkonomisk fordelagtige ift. træpillefyr
DELKONKLUSIONER	2 Mindre naturgas i opvarmning opnås billigst med varmepumper	<ul style="list-style-type: none"> • Sænke afgift på el • Udarbejd strategi for brug af gas i boliger, erhverv og fjernvarme
	3 Biogas er blandt billigste løsninger i tung transport	<ul style="list-style-type: none"> • Sikre biogas udbredelse hvor størst værdi (dvs. til at fortrænge diesel) • Grønne brændsler skal være attraktivt valg ift. diesel
	4 Faldende batteripriser gør elbiler samfundsøkonomisk attraktive	<ul style="list-style-type: none"> • Prisforholdet mellem el- og benzinbiler skal forbedres for at starte udviklingen • Særlig indsats for elbiler med mange årlige km
	5 Energieffektivisering i erhverv er billigere end i husholdninger	<ul style="list-style-type: none"> • Fokus på energibesparelser fjerner fossile brændsler og CO₂ • Målrettede udbud frem for brede støtteordninger
		<ul style="list-style-type: none"> • Erstatning af naturgas til (rum)opvarmning er blandt de billigere tiltag til CO₂-reduktioner. • Nye eldrevne varmepumper er billigere end biogas i nyt gasfyr. • Store varmepumper billigt tiltag i decentral kraftvarme
	<ul style="list-style-type: none"> • Biogas i tung transport er blandt de billigere tiltag. • 2.G. biobrændsler er blandt dyre tiltag • Batteridrevne køretøjer kan muligvis konkurrere på længere sigt 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Elbiler med mindre batterirækkevidde er samfundsøkonomisk billige i 2020. • Faldende batteripriser kan få elbiler med større batterirækkevidde til at blive billigere tiltag • Årligt kørselsbehov er vigtig for CO₂-skyggeprisen 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Fortrængning af naturgas og olie via besparelser eller grønt brændsel i industrien er blandt billigere tiltag • Energieffektivisering i husholdninger er ofte relativt dyre og giver derfor kun et lille omkostningseffektivt CO₂-reduktion. 	

Hvad er de klima- og energipolitiske implikationer af analysen?

Analysens resultater bør have konsekvenser for kommende klima- og energipolitiske initiativer, herunder kommende klimaplan, energiaftale samt reformer af energifgifter og tilskud:

Grøn omstilling af transport og opvarmning kan levere den nødvendige ekstra klimaindsats – og til rimelige omkostninger

Hvis man tilrettelægger en national klimaindsats med fokus på at reducere forbruget af fossile brændsler i transport, erhverv og opvarmning og medregner kulstofoptag i skov og jord, vil man kunne holde omkostningerne på et acceptabelt niveau. Dog kan et manglende gennembrud for elbiler fordyre den samlede indsats og påvirke dette billede.

En klimapolitik, som reducerer fossile brændsler bidrager til andre mål

En strategi for ikke-kvoteområdet, der satser på hjemlige tiltag med fokus på reduktion af fossile brændsler, vil høste synergier med andre klima- og energimål. En ambitiøs grøn omstilling af dansk opvarmning og transport vil ud over klimamålet bidrage til regeringens mål om 50 pct. vedvarende energi i 2030 og målet om uafhængighed af fossile brændsler i 2050.

En klimapolitik med fokus på færre fossile brændsler kan mindske behov for klimatiltag i dansk landbrug

Når energi- og transportområdet går forrest, mindskes behovet for klimatiltag i landbruget. Dette kan være rimeligt set i lyset af, at landbruget er stærkt konkurrenceudsat, hvorfor bebyrdende klimatiltag kan risikere at forringe konkurrenceevnen og skubbe landbrugsproduktion ud af landet.

Elektrificering er centralt i en omkostningseffektiv klimapolitik – dette kræver bl.a. lavere elafgift

For at sikre bedre sammenhæng mellem samfundsøkonomi og privatøkonomi inden for opvarmning bør elafgiften sænkes eller fjernes. Dette vil sikre, at el kan konkurrere med afgiftsfritaget biomasse, samt at det bliver attraktivt for kunder at vælge el frem for olie og naturgas. For at sikre hurtig udfasning af de resterende oliefyr kan der desuden gives målrettet støtte – fx i form af en skrotningspræmie.

Behov for strategi for udfasning af naturgas til opvarmning

Analysen viser, at det er billigere at satse på elbaseret opvarmning i form af individuelle eller store (fjernvarme) varmepumper til erstatning af naturgas end at øge mængden af biogas til opvarmning. Dette peger på behov for en strategi for, hvordan og i hvilket tempo naturgassen skal ud af vores opvarmning, og hvilke konsekvenser det har for gaskunderne, herunder for betaling til infrastrukturen de steder, hvor der fortsat skal anvendes gas.

Håndtag til fremme af biogas i tung transport

Analysen viser desuden, at gas til transport er blandt de billigere CO₂-tiltag. Det er imidlertid ikke lykkedes at få fart i omstilling af den tunge transport. Man bør derfor overveje at give nye incitamenter til investering i gaskøretøjer og -infrastruktur samt sikre, at biogasanvendelsen i højere grad orienteres mod transportsektoren.

Elbiler kan løfte stor klimabyrde på sigt, men kræver gode rammer

Elbiler kan potentielt levere en stor del af CO₂-reduktionen frem mod 2030 omkostningseffektivt, dog primært fra 2025 og fremad. At realisere potentialet forudsætter, at rammerne – også på den korte bane – indrettes, så konkurrenceforholdet mellem el- og benzinerbiler forbedres, og opladningsinfrastrukturen bygges op. Den samfundsøkonomiske gevinst ved elbiler er størst ved store årlige kørselsbehov, hvor der fortrænges relativt mere benzin/diesel. Det bør derfor overvejes at give ekstra incitament til, at fx pendlere eller brugere af firmabiler, skifter til elbil. Bl.a. lavere kan elafgift være et af midlerne til at fremme elbiler med lange årlige kørselsbehov.

Behov for en ny tilgang til energibesparelser

Energibesparelsesindsatsen bør øge fokus på at fjerne fossile brændsler og spare CO₂. Dette kan blandt andet gøres med målrettede udbud frem for brede støtteordninger. Energieffektivisering i industrien giver mere klima for pengene end bygninger/husholdninger, hvilket taler for at prioritere indsatsen her, fx i form af en udbudsordning rettes mod erhverv. Der er bl.a. et stort potentiale for højtemperatur-varmepumper i procesindustrien. De høje CO₂-fortrængningsomkostninger ved visse energireoveringer af bygninger peger på, at der primært skal være fokus på at indfri de nuværende krav i Bygningsreglementet frem for at udvide ambitionsniveauet.

2 Indledning

Danmark vil få en betydelig klimaforpligtelse for de ikke-kvoteomfattende sektorer for perioden 2021-2030 som led i EU's 2030 klima- og energipakke. Fremskrivninger viser, at det vil kræve en ekstra indsats fra dansk side at leve op til reduktionsforpligtelsen – enten gennem hjemlige tiltag og/eller ved anvendelse af muligheder for at købe reduktioner uden for landets grænser. Denne analyse undersøger hvor stort et klimabidrag, der kan leveres 2021-2030 ved at reducere brugen af fossile brændsler på energi- og transportområdet i Danmark og til hvilke omkostninger. Formålet er at kvalificere debatten om, hvordan Danmark bedst tilrettelægger sin klimapolitik, så omkostninger minimeres og gevinster maksimeres.

2.1 Baggrund – Danmark skal reducere drivhusgasser uden for kvotesektoren frem mod 2030

Den europæiske klimaindsats er opdelt på kvote- og ikke-kvoteomfattede sektorer

Den europæiske klimaindsats foregår i to parallelle spor. Drivhusgasser fra store stationære anlæg som kraftværker og tung industri reguleres af det europæiske kvotehandelssystem (ETS). Drivhusgasser fra mindre kilder såsom CO₂ fra bilers udstødning, olie og gasfyr, mindre industrianlæg og metan og lattergas fra landbrug reguleres derimod nationalt i form af lofter for hvert lands tilladte udledning fra de omfattede sektorer (herefter de ikke-kvoteomfattede sektorer).

Danmarks klimamål uden for kvotesektoren

Som et led i den europæiske klimaindsats uden for kvotesektoren får Danmark i perioden 2021-2030 en ny målsætning for udledninger af drivhusgasser. Tilsammen skal EU-landene reducere de ikke-kvoteomfattede drivhusgasser med 30 procent i forhold til 2005, hvilket realiseres gennem nationale reduktionsmål af varierende størrelse. Denne fordeling landene imellem er baseret på devisen om, at det er de bredeste skuldre – økonomisk set – som skal bære den største del af reduktionerne. Derfor får Danmark et af de højeste reduktionsmål. Det er således forventningen, at Danmark i perioden 2021-2030 gradvist skal reducere sin udledning af drivhusgasser i de ikke-kvoteomfattede sektorer og i 2030 have nedbragt udledningerne med 39 procent set i forhold til udledningerne i 2005.

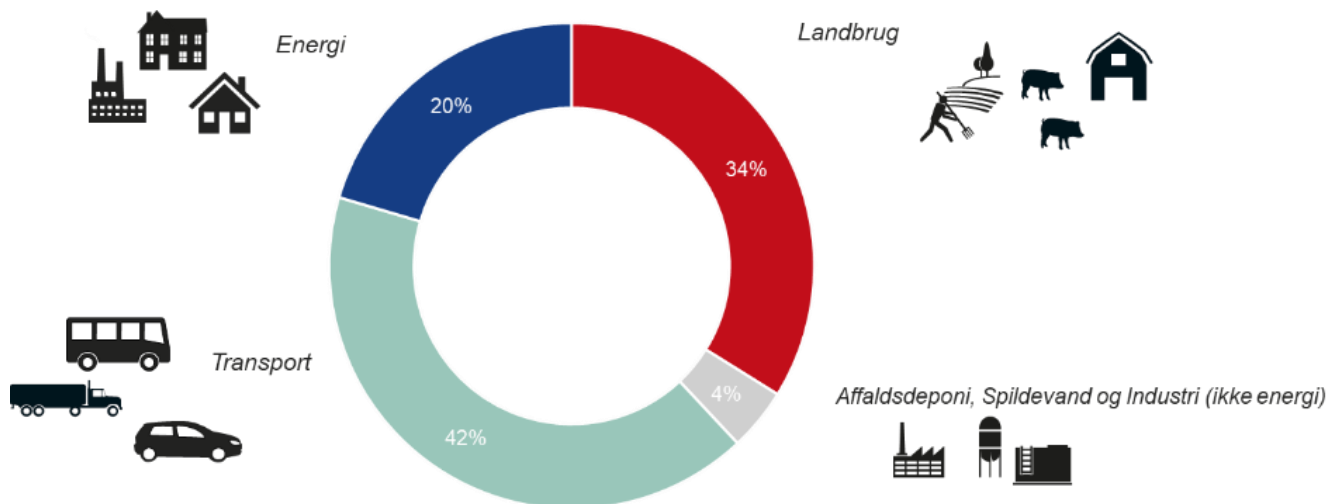
Udgangspunktet i Danmark

Danmark har allerede nedbragt de ikke-kvoteomfattede udledninger ganske betydeligt. Forventningen er, at Danmark vil overopfylde det mål, som gælder perioden 2013-2020, om i 2020 at nedbringe reduktionerne til -20 pct. under 2005-niveau. Det betyder dog også, at en del af de lavest hængende frugter er plukket. Fremadrettet er det "svære" sektorer som bl.a. transport, man skal have fat i.

I 2020 er forventningen således, at transportsektoren vil være den største udleder af ikke-kvoteomfattede drivhusgasser i form af CO₂ fra person-,

kollektiv og tung transport. Dernæst kommer landbruget, hvor størstedelen er drivhusgasser (metan) fra produktion af husdyr. Dertil kommer CO₂ fra olie- og gasfyrd i individuelt opvarmede boliger samt en række industri- og produktionserhvervs brug af olie og gas. Endelig er der en mindre drivhusgasudledning fra affaldsdeponier, spildevand mv.

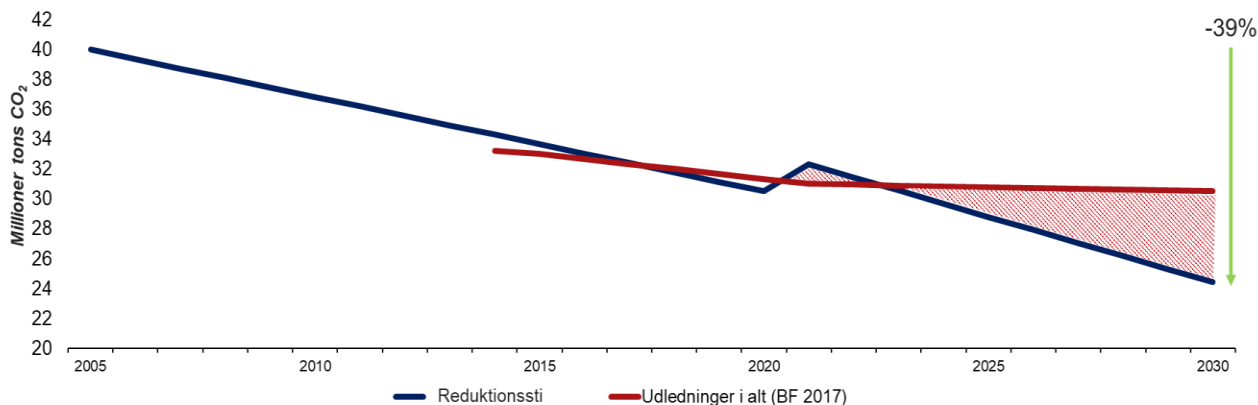
Figur 3. Forventet fordeling mellem drivhusgasudledninger uden for kvotesektoren i energi, transport og landbrug i 2020 (kilde: Energikommis- sionen).



2.1.1 Behov for ekstra tiltag for at opfylde klimamålet

Energistyrelsens fremskrivning af de fremtidige drivhusgasudledninger i de ikke-kvoteomfattede sektorer peger på, at udledningerne – uden nye tiltag – i det meste af perioden 2021-2030 vil ligge over det loft for drivhusgasser, som EU-målet udstikker. Det kræver altså en ekstra indsats at leve op til klimamålet. Energistyrelsen opgør denne forskel – den såkaldte CO₂-manko – til at være mellem 21 og 38 mio. ton CO₂-kumuleret over perioden. Det centrale skøn over CO₂ mankoen er 28 mio. ton over perioden jf. **Figur 4** nedenfor – hvilket svarer til ca. 2-4 gange den årlige udledning i transportsektoren. Skønnet er behæftet med en betydelig usikkerhed, da mange faktorer – økonomisk vækst, landbrugseksport mv. – påvirker udviklingen.

Figur 4 (øverst) Udledninger uden for kvotesektoren i Danmark sammenholdt med det forventede loft (reduktionssti) for udledninger 2021-2030, (nederst) Tabel med udledninger, reduktionssti og manko år for år i 2021-2030.
 Kilde: Dansk Energi på baggrund af Energistyrelsen



mio. t CO ₂ e	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total	Total inkl. Følsomhed
Udledning	31,1	31	30,9	30,8	30,8	30,8	30,7	30,6	30,6	30,5		
Reduktionssti	31,7	30,8	30	29,2	28,4	27,6	26,8	25,9	25,1	24,3		
Manko	-0,6	0,2	0,9	1,6	2,4	3,2	3,9	4,7	5,5	6,2	28	21 til 38

Danmarks muligheder for at bruge fleksibilitetsmekanismer

Dog er der alternativer til år for år at skære de indenlandske drivhusgasudledninger ned til loftet i form af forskellige fleksibilitetsmekanismer, jf. **Tabel 1**. Hvis alle fleksibilitetsmekanismer bringes i anvendelse, kan Danmark i princippet opfylde klimamålet uden at skære i de indenlandske udledninger. Konsekvensen af en sådan tilgang vil dog være, at Danmark i 2030 ikke vil være kommet tættere på det langsigtede mål om at reducere de samlede drivhusgasudledninger med 80-95 procent i 2050 ift. 1990. Endvidere vil man stå med et dårligt udgangspunkt for en kommende klimaforpligtelse for de ikke-kvotefattede sektorer fra 2031 og frem.

Tabel 1 Flexibilitetsmekanismer, som Danmark kan bruge til målopfyldelse i de ikke-kvoteomfattede sektorer. **Kilde:** Dansk Energi

<p>Flexibilitet mellem år</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der er mulighed for at tilrettelægge en fleksibel målopfyldelse over perioden således, at et års overopfyldelse kan dække et andet års underopfyldelse af målet - dog begrænsninger på, hvor langt man må falde bagud
<p>Annullere ETS-kvoter og medregne i målopfyldelse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Danmark kan vælge at annullere et antal ETS-kvoter i stedet for at nedbringe indenlandske ikke-kvoteomfattede udledninger - dog max 2 pct. af egne 2005-udledninger dvs. i alt 7,5 mio. ton CO₂ over perioden 2021-2030
<p>Medregne kulstofoptag i jord og skov - de såkaldte LULUCF-kreditter - i målopfyldelse</p> <ul style="list-style-type: none"> • 280 millioner ton CO₂-ækv i alt på EU plan • Danmark kan bruge 14,6 mio. ton CO₂-ækv i alt over perioden 2021-2030
<p>Købe reduktioner i udlandet i form af ikke-kvote-udledningstilladelser</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ubegrænset mulighed for at købe udledningstilladelser fra andre lande og hermed minimere behovet for at skære indenlandske drivhusgasudledninger

2.2 Analysens formål: Vejen til klimamålet uden for kvotesektoren

Danmark skal i de kommende år tage stilling til, hvordan man ønsker at leve op til de danske klimamål i perioden 2021-2030, herunder hvor, hvor meget og hvordan man vil nedbringe de indenlandske drivhusgasudledninger. Regeringen har således meldt ud, at den i forbindelse med den klimapolitiske redegørelse i 2017 vil fremlægge en klimaplan, der samler regeringens initiativer på klimaområdet.

I den forbindelse er det vigtigt, at den fremtidige klimapolitik udarbejdes på et oplyst grundlag med et pejlemærke om at gøre det så samfundsøkonomisk fornuftigt som muligt. Det handler dels om at sørge for at vælge de områder og de tiltag, hvor man får mest klima for pengene – både på den korte og den lidt længere bane. Men det handler også om at tilrettelægge en indsats, der tager hensyn til andre samfundsmæssige mål – såsom konkurrenceevne, økonomisk vækst, miljømål og energipolitiske mål mv.

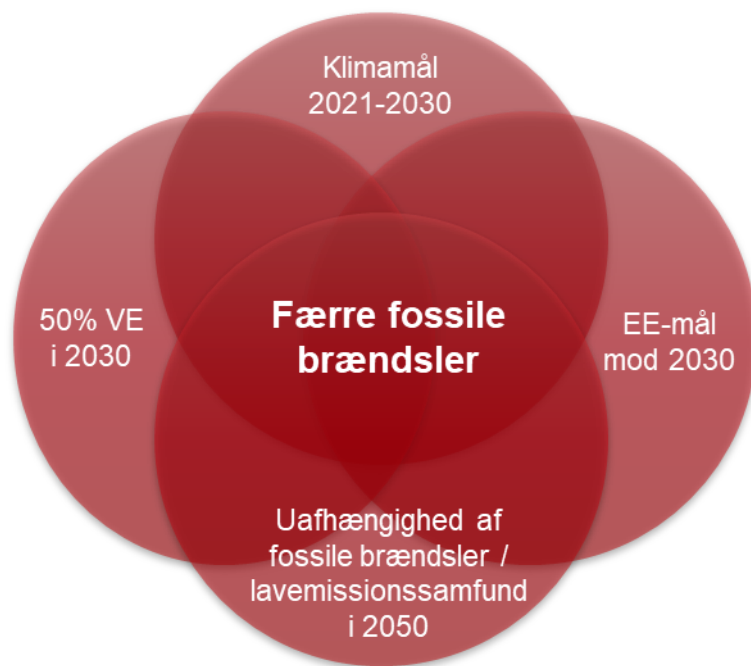
Formålet med denne analyse er at bidrage til dette vidensgrundlag og dermed til, at Danmarks grønne omstilling sker på en hensigtsmæssig måde til gavn for klimaet og samfundet som helhed. Helt konkret undersøger analysen klimaeffekt og omkostninger ved en lang række forskellige grønne tiltag. Tilsammen giver dette et bidrag til at forståelsen af, hvordan en omkostnings-effektiv klimapolitik kan se ud.

2.2.1 Fokus på reduktion af fossile brændsler i transport, erhverv og opvarmning

I denne analyse fokuseres udelukkende på reduktionspotentialer og – omkostninger inden for transport og (ikke-kvoteomfattet) energiproduktion og – anvendelse. Dvs. der fokuseres på mulighederne for at reducere brugen af olie, benzin/diesel og naturgas til transport, opvarmning og visse erhvervsprocesser. Der analyseres således ikke reduktionspotentialer og -omkostninger inden for landbruget.

Baggrunden for denne afgrænsning er, at der er en stærk synergi mellem reduktion af olie- og naturgasforbrug i perioden 2021-30 og andre klima- og energipolitiske målsætninger, jf. **Figur 5**.

Figur 5 Mindre olie, benzin/diesel og naturgas bidrager både til klimamålet for de ikke-kvoteomfattede sektorer og en række øvrige klima- og energipolitiske mål særligt 50% VE i 2030 og det langsigtede mål om uafhængighed af fossile brændsler i 2050. "EE-mål mod 2030" dækker forventede krav i EU's energieffektiviseringsdirektiv frem mod 2030.



At nedbringe CO₂-udledningerne ved at reducere brugen af olie og gas i de ikke-kvoteomfattede sektorer vil således bidrage til andre centrale klima- og energipolitiske målsætninger. Først og fremmest det langsigtede mål om at gøre Danmark uafhængigt af fossile brændsler i 2050. Her er man nået langt med at reducere kulforbrug i el- og varmeproduktion, men især i transporten er der sket meget lidt. Dertil kommer, at EU har sat et mål om en 80-95 procent reduktion af de samlede drivhusgasudledninger i 2050 ift. 1990. Her er det ligeledes svært at se, at der er plads til CO₂ fra forbrug af kul, olie og naturgas, hvis der skal være plads til drivhusgasser knyttet til fortsat fødevarerproduktion.

På den lidt kortere bane bidrager et reduceret forbrug af olie, benzin/diesel og naturgas i 2030 også til at opfylde regeringens målsætning om, at mindst 50

procent af vores energiforbrug skal kunne dækkes af vedvarende energi i 2030. Og endeligt vil en række af de tiltag, fx elektrificering, som bidrager til at reducere olie- og naturgasforbruget i de ikke-kvoteomfattede sektorer 2021-2030, også bidrage til at opfylde målet om øget energieffektivitet (EU energieffektiviseringsdirektiv) som forventes at blive videreført frem mod 2030. Frem mod 2020 er energieffektiviseringskravet at nedbringe slutenergiforbruget med 1,5 procent pr. år.

Analysen bibringer ny viden om omkostninger og timing

Januar 2017 udgav Dansk Energi analysen "*Elektrificeringspotentialer og bidrag til klimamål*" (*Dansk Energi 2017a*). I denne analyse blev de danske potentialer for elektrificering identificeret sammen med den historiske udvikling indenfor fx elbiler og varmepumper. Derudover så analysen på CO₂-reduktioner fra elektrificering, herunder særligt potentielle bidrag til opfyldelse af kommende forpligtelser på det ikke-kvoteomfattede område. Analysen fokuserede udelukkende på de tekniske potentialer, og ikke økonomien i de forskellige løsninger eller barrierer for at realisere potentialet.

Denne analyse har et bredere genstandsfelt, idet der ikke udelukkende ses på el, men på en bred palet af grønne alternativer til olie og naturgas. Endvidere er der med denne analyse gået i dybden med omkostninger forbundet med de mulige grønne teknologiskift.

Analysen har en stor fællesmængde med en analyse offentliggjort af Klimarådet i juni 2017. Dog adskiller denne analyse sig dels ved at regne på et større antal grønne teknologier, dels ved at tilføje et tidsmæssigt aspekt til analysen af reduktionspotentialer og -omkostninger. Altså undersøge relationen mellem, hvornår et klimatiltag gennemføres, og den omkostning og CO₂-reduktionseffekt det vil have. Dette er særlig relevant i lyset af, at en række af de grønne teknologier forventes at se faldende omkostninger frem mod 2030. Hermed kan analysen ikke alene bidrage til forståelse af hvor, hvordan og hvor meget, man bør/kan reducere de indenlandske udledninger, men også hvornår man bør sætte ind hvor.

2.3 Læsevejledning

I kapitel 3 gennemgås metoden med klarlægning af hvilken CO₂-reduktionsmængde, der konkret analyseres ("CO₂-mankoen i analysen"), samt der gives et overblik over hvilke sektorer og teknologier, der er medtaget i analysen. Herefter beskrives beregningsmetoden for samfundsøkonomiske CO₂-skyggepriser, som er den størrelse, der benyttes til at sammenligne tiltag på tværs af sektorer. Efterfølgende beskrives de centrale antagelser for bl.a. teknologiomkostninger og brændselspriser, der er anvendt i analysen. Til sidst diskuteres de største usikkerheder ved analysen.

I kapitel 4 beregnes CO₂-skyggepriser for teknologier inden for hver af de fem sektorer i analysen. For hver sektor gennemgås forventet udvikling, og der vises de forventede samfundsøkonomiske omkostninger i 2020 og 2030 (i hhv. kr/GJ og kr/km), som ligger til grund for beregningen af CO₂-skyggepriser. Ud fra CO₂-skyggepriserne er der valgt et CO₂-bidrag (svarende til mio. ton CO₂-reduktion over perioden), som forskellige teknologier antages at kunne levere – dette giver et eksempel på grøn omstilling af sektoren med de billigste teknologier.

I kapitel 5 er CO₂-skyggepriser sammenlignet på tværs af sektorer i en såkaldt MAC-kurve (**M**arginal **A**batement **C**osts). Først gennemgås tiltagene i forhold til niveauer af CO₂-skyggepriser, og herefter ses på hvilke tiltag ("klimapakken") der skal i spil for at opfylde Danmarks klimamål, dvs. CO₂-mankoen i analysen. Den samlede samfundsøkonomiske omkostning samt marginale CO₂-skyggepris opgøres for disse tiltag, og CO₂-reduktion vises efterfølgende opdelt på hhv. sektorer samt på nyt brændsel. Sidst i kapitlet ses hvordan, det fordeles på hhv. tidlige, gradvise og sene tiltag. Og endelig sammenlignes effekten af at gennemføre klimapakken med andre mulige forløb, hvor der er i stedet anvendes en høj grad af fleksibilitetsmekanismer til at opfylde klimamålet.

I kapitel 6 vises konklusioner, barrierer og anbefalinger for hver sektor, således at der per sektor opsummeres viden fra MAC-kurven efterfulgt af en vurdering af mulige barrierer for, at de samfundsøkonomisk billigste potentialer bliver indfriet. Der afsluttes med anbefaling for at overkomme barrieren, samt der diskuteres flere forhold, som i lyset af analysen bør undersøges nærmere.

I kapitel 7 gennemgås en række følsomhedsscenarier, der undersøger hvor robuste analysens konklusioner om samfundsøkonomiske omkostninger til grøn omstilling samt sammensætning af billigste tiltag er overfor ændrede antagelser vedr. bl.a. brændselspriser og elbilspriser.

3 Metode

Forskellige klimatiltag har forskellige omkostninger i form af investering og drift og forskellige gevinster i form af bl.a. CO₂-reduktioner og sparede brændselsomkostninger. En samfundsøkonomisk fornuftig klimapolitik kræver derfor både sammenligning på tværs af sektorer og teknologier og på tværs af tid. Til det formål anvendes CO₂-skyggepris som centralt begreb til at belyse hvor og hvornår, man mest omkostningseffektivt kan nedbringe det fossile brændselsforbrug og hermed reducere CO₂-emissioner uden for kvotesektoren. Metoden giver både mulighed for at skønne samlede samfundsøkonomiske omkostninger til at indfri CO₂-målet 2021-2030 og for at sammenligne potentialer og omkostninger på tværs af individuel opvarmning, decentral fjernvarme, erhverv, persontransport og tung transport.

I afsnit 3.1 er gennemgået den CO₂-manko, som regnes på i rapporten. Herefter gives et kort overblik over metoden (Sådan har vi gjort) i afsnit 3.2, som herefter uddybes i afsnit 3.2 ift. de teknologier, der er sammenlignet i analysen, beregning af CO₂-skyggeprisen i afsnit 3.3.2 og indfasningsprofiler i afsnit 3.3.3. I afsnit 3.4 beskrives de antagelser, som er ligger til grund for de resultater, som præsenteres i kapitel 5-6. I afsnit 3.5 diskuteres de usikkerheder, som metoden og afgrænsninger giver anledning til.

3.1 CO₂-reduktion analyseret i rapporten

Det centrale skøn i Basisfremskrivningen 2017 for Danmarks nonETS-klimamanko er 28 mio. ton over perioden 2021-2030. På **Figur 6** er vist det CO₂-reduktionsmål (manko), som er analyseret i rapporten. Der tages udgangspunkt i det centrale skøn for mankoen, og herefter tillægges de tiltag inden for energi- og transportområdet, fx til varmepumper, elbiler og biomasseanvendelse, som er inkluderet i Basisfremskrivning frem mod 2030 – hermed fås en manko renset for yderligere tiltag inden for energi og transport.

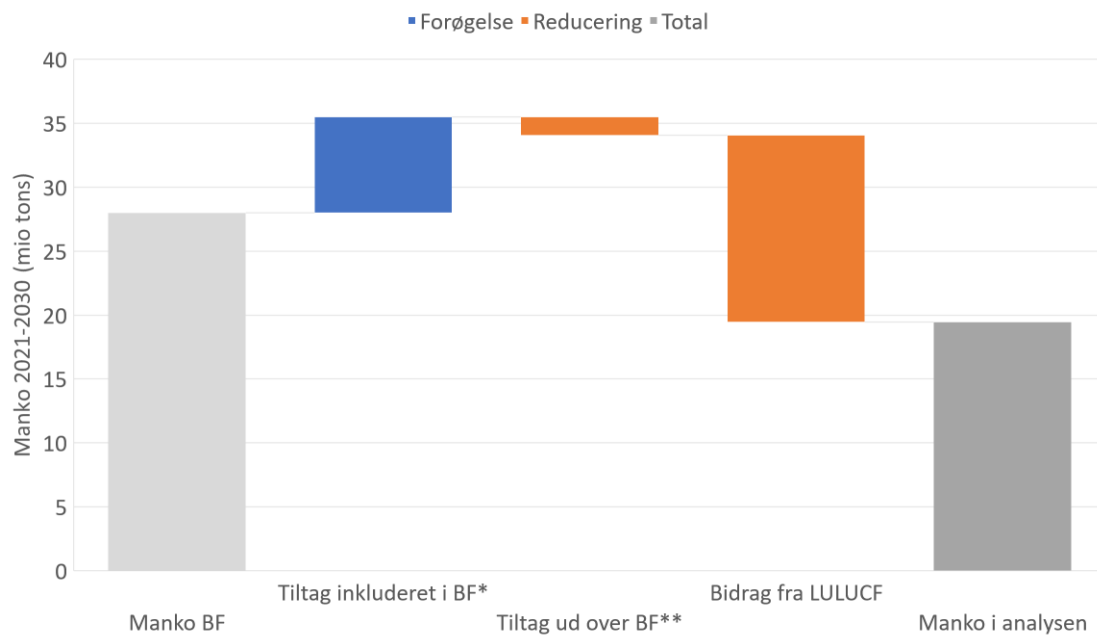
Fra dette niveau modregnes forventet CO₂-reduktion fra varebiler og skibe, som ikke er analyseret i rapporten. Desuden fratrækkes LULUCF-kreditter på 14,6 mio. ton over perioden 2021-2030, som Danmark forventes at kunne udnytte til at opfylde klimamålet¹. Hermed fås ca. 19,5 mio. ton CO₂-reduktion som CO₂-fortrængning, hvilket fremgår af figuren nedenfor.

¹ Der er usikkerhed om de endelige regler for brug af LULUCF. Der er et årligt loft på anvendelse af LULUCF-kreditter, men også mulighed for at overføre ubrugte kreditter til senere i perioden (forudsat udledninger ligger over reduktionsloftet) – kilde: Erik Tang, chefkonsulent, Energi- Forsynings- Klimaministeriet.

Figur 6 Beregning af CO₂-manko i analysen. Mankoen i BF2017 er ca. 28 mio. ton, men heri er inkluderet et forventet fald i brug af fossile brændsler på energiområdet svarende til ca. 7,5 mio. ton. Heraf antages ca. 1,4 mio. ton at ske inden for varebiler og skibe, der ikke analyseres yderligere i denne rapport. Desuden kan brug af LULUCF-kreditter give op til 14,6 mio. ton over perioden. Den resterende manko, som er analyseret i denne rapport, er hermed ca. 19,5 mio. ton over perioden 2021-2030.

*Tiltag, der er inkluderet i mankoen i BF, er vist på **Figur 27** i kapitel 5.2.

**Tiltag, der antages ud over BF (og som heller ikke analyseres i denne rapport), er primært omstilling af skibe og varebiler, og hvor CO₂-reduktionspotentialet er skønnet i (Dansk Energi 2017a).



Dette betyder, at analysen undersøger, hvordan man med tiltag fra de forskellige sektorer kan opfylde en manko på knap 20 mio. ton. Dette svarer til, at man opfylder mankoen fra Basisfremskrivningen, hvis man i øvrigt vælger at medregne LULUCF-kreditter (dvs. ca. 14 mio. ton additionelt til Basisfremskrivningen samt ca. 14 mio. ton fra LULUCF).

I denne rapport lægges således til grund, at man medregner LULUCF-kreditter, men ikke bruger muligheden for at annullere kvoter. Sidstnævnte skal bl.a. ses i lyset af et betydeligt overskud af kvoter i det europæiske kvotehandelssystem, hvilket indebærer, at klimaeffekten af at annullere en lille mængde kvoter vil være helt marginal. Det lægges heller ikke til grund, at målet opfyldes ved at købe andre EU-landes reduktioner. Dette er i overensstemmelse med bl.a. Klimarådets anbefalinger og i tråd med Energikommisionens anbefalinger om at gennemføre en betydelig mængde af de nødvendige klimatiltag inden for landets grænser.

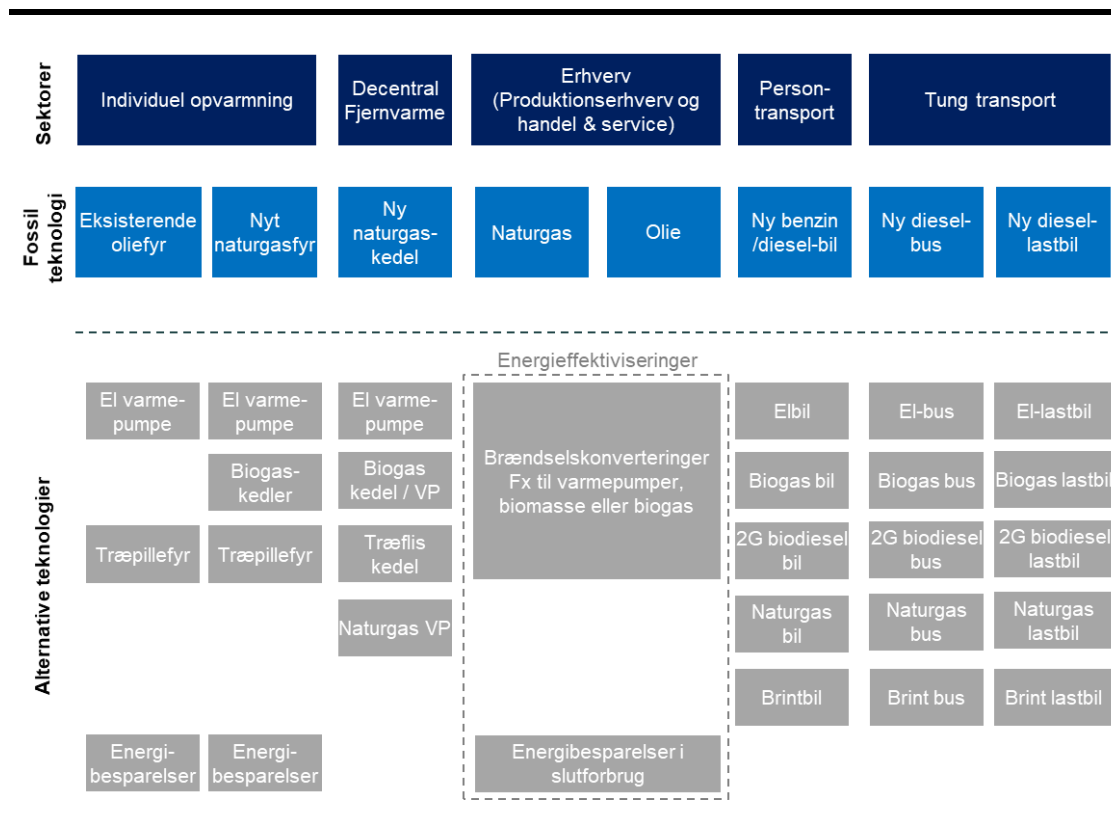
Det er værd at påpege, at det centrale skøn for mankoen i Basisfremskrivningen er meget usikkert. Energistyrelsen angiver således et spænd på 21-38 mio. ton, hvilket betyder, at der kan blive behov for betydeligt færre eller betydeligt flere tiltag for at opfylde forpligtelsen.

3.2 Sektorer og teknologier i analysen

For at kunne sammenligne omkostningseffektiviteten ved en række forskellige tiltag i ikke-kvotesektoren er de samfundsøkonomiske CO₂-fortrængningsomkostningen beregnet for hvert af tiltagene.

Dette er gjort ved at opdele fossilt brændselsforbrug (dvs. fyringsolie, naturgas, benzin/diesel) i forskellige anvendelsesområder inden for opvarmning og transport, hvilket ses på **Figur 7**.

Figur 7. Sektorer med tilhørende teknologier, der bliver sammenlignet i analysen.



For hvert eksisterende forbrug af fossilt brændsel er analyseret forskellige alternativer, som kan reducere forbruget af fossile brændsler og dermed reducere udledninger fra det pågældende område – fx er undersøgt 4 metoder at nedbringe forbruget af naturgas til individuel opvarmning.

I kapitel 4 vises samfundsøkonomien mellem de forskellige alternative teknologier ift. den fossile teknologi. I kapitel 5 ses på økonomien på tværs af alle de alternative teknologier, vist i en MAC-kurve.

3.3 Beregningsmetode for CO₂-skyggepriser

3.3.1 Overblik over beregningsmetode

De centrale elementer i beregningen og brugen af CO₂-skyggepriser er vist i tabellen nedenfor.

Tabel 2. Oversigt over elementerne i beregningerne

Sådan har vi gjort
<p>CO₂-skyggepris (udddybes i kapitel 3.3.2)</p> <p>Der sammenlignes en række alternative teknologier inden for hhv. individuel opvarmning, decentral fjernvarme, erhverv, persontransport og tung transport med de fossile løsninger, som kan fortrænges og hermed reducere CO₂-emissionen.</p> <p>For alternativ teknologi beregnes en CO₂-skyggepris (kr/ton fortrængt CO₂), dvs. omkostningen for alternativet ift. den fossile reference divideret med CO₂-gevinsten ved at anvende alternativet.</p> <p>Der regnes med samfundsøkonomiske omkostninger, hvilket vil sige, at investerings- og drifts-omkostninger uden afgifter suppleres med miljøeksternaliteter.</p>
<p>Indfasningsprofil 2021-2030 (udddybes i kapitel 3.3.3)</p> <p>For at se på forskellige indfasningshastigheder af de alternative teknologier ses på tre forskellige indfasningshastigheder: Lineær, gradvis eller sen. Hermed repræsenterer hver profil forskellig mængde CO₂-reduktion over perioden, men CO₂-skyggeprisen ændres også for hver profil, fordi omkostningsforholdet mellem fossil og alternativ teknologi ændres over tid. Faldende teknologi-omkostninger kan vejes op mod behovet for at opnå CO₂-reduktion over perioden.</p>
<p>Maksimal indfasning frem til 2030 (beskrives i kapitel 4 for hver sektor)</p> <p>Inden for hver sektor skønnes en maksimal indfasning af alternative teknologier i 2030, og denne mængde fordeles herefter blandt de samfundsøkonomisk billigste teknologier. Den maksimale indfasning i 2030 afgør derfor CO₂-fortrængningsmængden i hver af de tre indfasningsprofiler.</p>
<p>MAC-kurve til opfyldelse af CO₂-manko (kapitel 5)</p> <p>CO₂-skyggepriserne for hver udvalgt alternativ teknologi (opdelt på tre indfasningsprofiler) benyttes til at lave en MAC-kurve² for perioden 2021-2030, dvs. en kurve der viser stigende marginale fortrængningsomkostninger for tiltag inden for transport og energi, med de tilhørende CO₂-fortrængningsmængder.</p>
<p>Analysen medtager ikke virkemiddelomkostninger</p> <p>Analysen beskæftiger sig ikke med virkemiddelomkostninger, dvs. det konkrete instrument, som skal få et givent teknologiskift til at ske. Analysen viser kun de rene teknologiomkostninger og – gevinster, ikke om effekten opnås via en afgift, et tilskud eller en norm/regel. I forlængelse heraf kvantificeres ikke instrumentomkostninger – fx et samfundsøkonomisk tab ved at indføre en ny afgift og dermed forvride forbrugernes valg.</p> <p>Udfordringen ved at inkludere instrumentomkostninger er, at analysen bliver meget kompliceret og i høj grad følsom over for metodiske valg og antagelser. Ulempen ved ikke at inkludere instrumentomkostninger er, at den samfundsøkonomiske omkostning ved at gennemføre klimatiltag tenderer til at blive undervurderet, når man kun ser på teknologiskiftet. Således får man ikke kvantificeret omkostninger såsom dødvægtstab (tilskud til ting, som forbrugerne ville have gjort under alle omstændigheder) eller skatteforvridningstab.</p> <p>Derfor skal analysens skøn over samlede omkostninger ved klimatiltag læses med et stort forbehold, for at det kun er en del af de samfundsmæssige omkostninger, som indfanges.</p>

3.3.2 CO₂-skyggepris muliggør sammenligning på tværs

CO₂-fortrængningsomkostningen (CO₂-skyggeprisen) for de alternative teknologier er beregnet ud fra omkostningsændring ift. den fossile reference divideret med CO₂-reduktionen ved alternativet ift. den fossile reference:

² MAC står for "marginal abatement cost" dvs. i denne sammenhæng de marginale fortrængningsomkostninger ved at sænke CO₂-emissionen uden for kvotesektoren.

(Investering+drift+eksternaliteter)_{Alternativ tek.} – (Investering+drift+eksternaliteter)_{fossil ref.}

Samlet CO₂-reduktion

En negativ skyggepris udtrykker et samfundsøkonomisk overskud. Det vil sige, at samfundet vinder på at gennemføre det pågældende tiltag, fordi gevinsterne i form af brændselsprisbesparelser og evt. mindre støj, partikler mv. overstiger omkostningerne.

En positiv skyggepris udtrykker derimod et samfundsøkonomisk underskud, hvor omkostningerne, som samfundet påføres ved at gennemføre tiltaget, overstiger gevinsterne. Langt de fleste tiltag vil have en positiv pris – dvs. de påfører samfundet omkostninger. Det er dog ikke overraskende, at klimapolitikken har en pris. Det afgørende er at vælge tiltag, som minimerer det samfundsøkonomiske tab.

Et eksempel på en positiv CO₂-skyggepris er meromkostningen til køb og drift af en elbil med et stort batteri i stedet for en ny benzinbil, divideret med CO₂-besparelsen pga. fortrængt benzinforbrug. Et eksempel på negativ CO₂-skyggepris er reduceret omkostning ved køb og drift af en eldrevet varmepumpe i stedet for fortsat olieforbrug på et oliefyr.

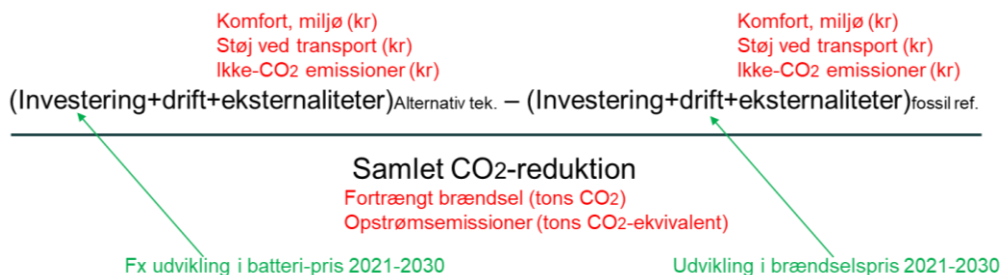
Omkostningen samt CO₂-reduktionen er beregnet ud fra følgende principper:

Omkostningen til både fossil reference og alternativ teknologi udgøres af driftsomkostning, annuieret investering samt evt. eksternaliteter.

- Driftsomkostningen beregnes ud fra fast og variabelt vedligehold samt brændselsomkostning – her tages der hensyn til udviklingen i brændselspris, dvs. fx en bil i 2021 får middelomkostningen til brændsel fra 2021-2030, mens en bil i 2025 får middelomkostningen fra 2025-2030.
- Annuieret investering beregnes ud fra levetiden, således at der kun medregnes de omkostninger, som er relevante inden for perioden 2021-2030. Desuden medtages forventet udvikling i investeringsomkostningen ved hjælp af indfasningsprofiler, hvilket forklares i afsnit 3.3.3.
- Eksternaliteter er medregnet som den samfundsøkonomiske positive eller negative værdi, som eksterne påvirkes med pga. energiforbruget. I beregningerne er medtaget ændringer i komfort- og miljøpåvirkning, støj fra transport samt ikke-CO₂-emissioner. For biogas medregnes bl.a. værdi af reduceret udvaskning og lugtgener.

CO₂-reduktionen er udgøres af to bidrag:

- Fortrængt CO₂-emission beregnet som fortrængt mængde brændsel gange CO₂-indhold i det fossile brændsel. I tilfælde hvor den alternative teknologi er naturgas, vil der kun være tale om reduceret CO₂-emission og ikke 100 % fortrængning.
- Opstrømsemmissioner er relevant for biogas, da input til biogasproduktionen (dvs. gylle, affald, dybstrøelse og halm) fører til afledte ændringer i metan- og lattergasudledninger i landbruget. Dette er uddybet i bilag 8.2.



CO₂-skyggeprisen vil blive ændret, hvis der sker udvikling i enten omkostninger eller CO₂-reduktion for den fossile reference eller alternative teknologi.

3.3.3 Indfasningsprofiler fra 2021-2030

Der anvendes forskellige indfasningsprofiler for at kunne vise trade-off mellem:

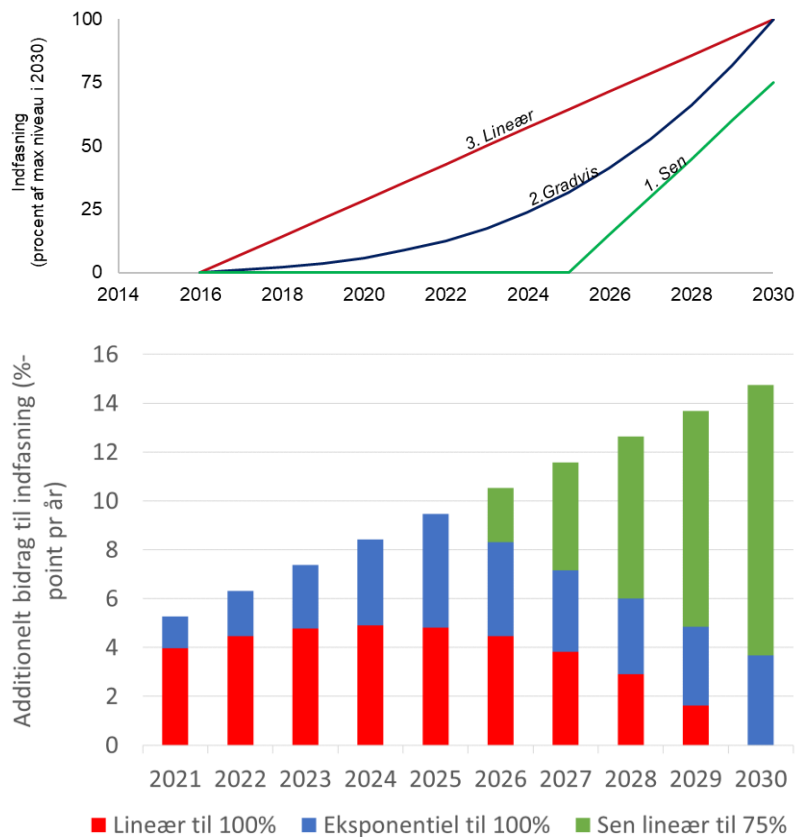
- tidlig indsats med stor kumuleret CO₂-reduktion over perioden men evt. til højere omkostning
- sen indsats med mindre kumuleret CO₂-reduktion over perioden og evt. til lavere omkostning

For stort set alle klimatiltagene forventes faldende omkostninger over tid – dels drevet af faldende teknologiomkostninger, dels drevet af stigende priser på fossile brændsler. Tidlig start vil føre til større kumuleret CO₂-fortrængning over perioden, men til gengæld give en højere CO₂-skyggepris, end hvis man venter. Skift fra benzinbil til elbil forventes fx at være billigere i 2028 end i 2021, fordi elbilen bliver billigere og olieprisen dyrere over perioden. Til gengæld giver det sene skift til elbil kun to års CO₂-reduktion.

For at kunne illustrere betydningen af ændringer i fx investerings- og brændselspriser over perioden 2021-2030 er CO₂-skyggeprisen beregnet i hhv. år 2020 og 2030, og der antages lineær udvikling i CO₂-skyggeprisen mellem disse beregningsår.

CO₂-skyggeprisen for hvert tiltag (dvs. alternativ teknologi) beregnes nu for tre forskellige indfasningsprofiler frem til 2030, jf **Figur 8**, der er kendetegnet ved:

Figur 8 (øverst) Profiler frem til 2030, (nederst) additional mængde for profilerne i 2021-2030.



Additional mængde CO₂-fortrænging over perioden 2021-2030. 'Lineær' profil udtrykker en hurtig indsats startende i dag. 'Lineær profil' giver den største kumulerede CO₂-fortrængning frem til 2030. Omvendt udtrykker 'Sen' profil en indsats, der først starter efter 2025, men stiger kraftigt, dog er den kumulerede CO₂-fortrængning frem til 2030 hermed mindre.

Profilerne repræsenterer additionalle CO₂-fortrængninger:

- 'Sen' profil giver 1/3 af den maksimale CO₂-fortrængning (arealet under Sen-kurven svarende til røde bidrag på grafen nederst)
- 'Gradvis' profil yderligere 1/3 CO₂-fortrængning (arealet mellem Gradvis- og Sen-kurverne svarende til blå bidrag på grafen nederst)
- 'Lineær' profil giver den sidste 1/3 af CO₂-fortrængningen (arealet mellem Lineær- og Gradvis-kurverne svarende til grønne bidrag på grafen nederst)

Gennemsnitlige, additional CO₂-skyggepris over perioden 2021-2030. Eftersom CO₂-skyggeprisen falder fra 2020 til 2030 vil indfasning sent i perioden få lavere gennemsnitlig CO₂-skyggepris end indfasning tidligt i perioden.

- CO₂-skyggeprisen for 'Sen' profil angiver additionalle omkostning til den tilhørende mængde CO₂-fortrængning sent i perioden.

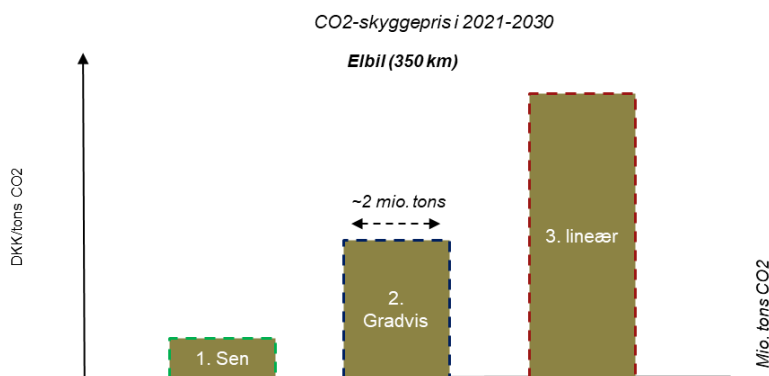
- CO₂-skyggeprisen for 'Gradvis' profil angiver den additionelle omkostning for at opnå den additionelle CO₂-fortrængning ift. 'Sen' profil.
- CO₂-skyggeprisen for 'Lineær' profil angiver den additionelle omkostning for at opnå den additionelle CO₂-fortrængning ift. 'Gradvis' profil.

Samlet betyder dette, at 'Lineær' profil har højest gennemsnitlig CO₂-skyggepris, men størst samlet CO₂-fortrængning 2021-2030, mens 'Sen profil' har lavest gennemsnitlig CO₂-skyggepris og mindst CO₂-fortrængning 2021-2030.

Eksempel på CO₂-skyggepris og mængde

Et eksempel på faldende CO₂-skyggepris samt additionel mængde CO₂-fortrængning ses på **Figur 9**. I eksemplet kan samlet opnås 6 mio. ton CO₂-fortrængning fra 2021-2030. 2 mio. ton CO₂-fortrængning fås til lav CO₂-skyggepris i 'Sen' indfasning, mens additionel 2 mio. ton CO₂-fortrængning kan opnås til en højere CO₂-skyggepris i 'Gradvis' indfasning. Endeligt kan additionel 2 mio. ton CO₂ fjernes ved 'Lineær' indfasning, men til en endnu højere CO₂-skyggepris.

Figur 9 Eksempel med additionel mængde og tilhørende CO₂-skyggepris. De billigste 2 mio. ton CO₂-reduktion fås med sen indfasning, de næste 2 mio. ton med gradvis indfasning, der har en højere CO₂-skyggepris, og de sidste 2 mio. ton kræver lineær indfasning, der har en endnu højere CO₂-skyggepris.



Fordelen ved denne tilgang er, at den giver et fingerpeg om, hvor meget billigere det er at vente relativt til, at man så får mindre klimaeffekt. Når man både sammenligner teknologier og for hver teknologi sammenligner indfasningsprofiler, får man et indtryk af, hvor man med fordel kan rykke hurtigt, og hvor man med fordel kan vente på, at teknologien bliver billigere.

3.4 Centrale antagelser

I rapporten er valgt en række centrale antagelser for udvikling i teknologiomkostninger, brændselspriser mv. Det er disse antagelser, som danner grundlag for resultaterne i kapitel 4-6.

I kapitel 7 er et følsomhedsscenario, hvor der ses på effekten af ændringer i centrale parametre, særligt brændselsomkostninger og elbilpriser. De konkrete følsomhedsscenarier er nævnt nedenfor.

Teknologiomkostninger

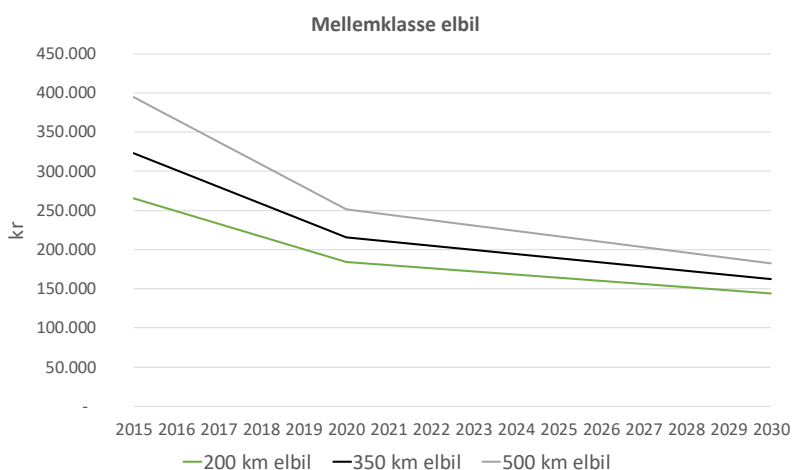
For investerings- og driftsomkostninger til opvarmning benyttes som udgangspunkt Energistyrelsens teknologikataloger. For decentral opvarmning anvendes estimater fra (Energistyrelsen 2016). For omkostninger til transport benyttes estimater fra Kommersialisering af Brintteknologier (Dansk Energi 2016).

Elbilpriser

I rapporten er sammenlignet mellemklassebiler³, dvs. svarende til VW Golf-størrelse. For elbiler benyttes et Middel-elbilpris-scenarie, som er beskrevet nærmere i kapitel 7.1.2 ift. antagelser til udvikling i batteripris og samlet elbilpris.

Den samlede anskaffelsespris (uden afgifter og moms) til elbiler med hhv. 200 km, 350 km og 500 km batterirækkevidde i Middel-elbilpris-scenariet ses i **Figur 10**. Der forventes et generelt fald i elbilprisen, herunder batteriprisen, og pga. sænkede omkostninger til batteriet er prisspændet mellem kort og lang batterirækkevidde mindre i fremtiden.

Figur 10 Udvikling i anskaffelsespris (uden afgifter og moms) for en mellemklasse elbil med forskellige batterirækkevidde i "Middel-elbilpris"-scenariet.



³ Forholdet mellem bilers investeringsomkostning og øvrige omkostninger til fx brændstof varierer inden for bilsegmenter (mikro, lille, mellemklasse, stor), og derfor vil CO₂-skyggeprisen også være anderledes for elbiler i andre segmenter end mellemklasse. Det vurderes dog, at beregninger for mellemklassebiler er repræsentative for CO₂-fortrængning med elbiler, men det er en mulig forbedring af analysen at opdele de samfundsøkonomiske beregninger i flere segmenter, fx mikro, lille, mellem og stor.

Konsekvensen af hhv. lav og høj elbilpris behandles i følsomhedsscenariet i kapitel 7.2.

Infrastrukturomkostning til transport

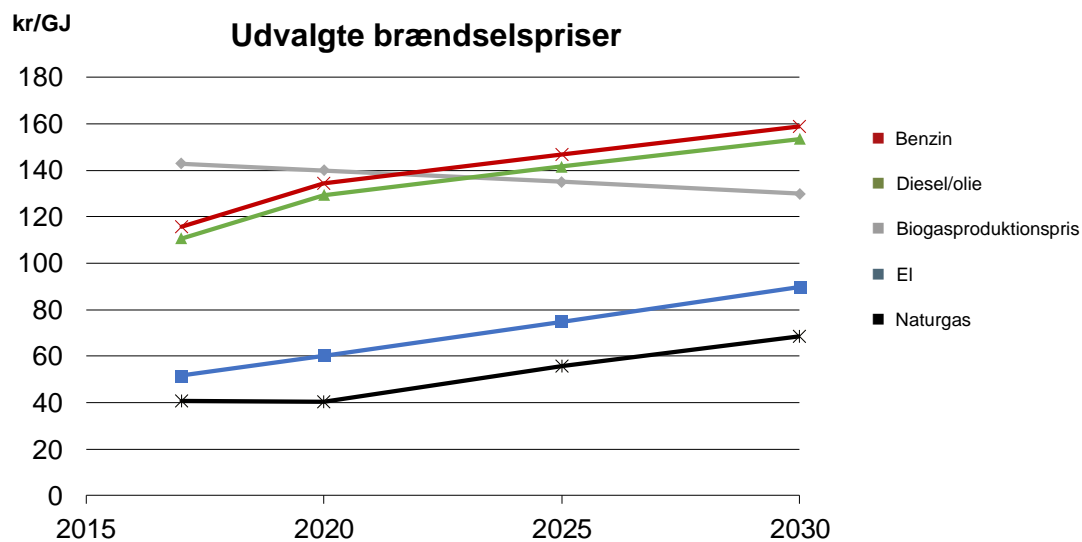
For el-, gas- og brintinfrastruktur til transport benyttes omkostninger estimeret i projektet Kommercialisering af Brintteknologier.

Tariffer for gas og el

Til opvarmning i individuelle huse, erhverv og decentral fjernvarme benyttes samfundsøkonomiske tariffer fra (Energistyrelsen 2017b).

Brændselspriser

For prisen af el, biomasse, olie/diesel, benzin, naturgas benyttes (Energistyrelsen 2017b) som reference for brændselsprisen frem til 2030.



De centrale antagelser omtales også som stigende brændselspriser, da der generelt er en forventning til højere brændselspriser. Konsekvensen af, at brændselspriser bliver på 2017-niveau, behandles i kapitel 7.2.

I følsomhedsscenariet kapitel 7.3 undersøges effekten af at benytte elpris svarende til middelproduktionsomkostningen for ny havvind.

For biogas benyttes produktionspris fra Energistyrelsen (Teknologikatalog for biogas, revision december 2016) med en forventning om en mindre prisreduktion frem mod 2030. Konsekvensen af lavere brintpris behandles i følsomhedsscenariet kapitel 7.3.

For 2.G-biobrændstof benyttes (EA Energianalyse 2016)

Eksternaliteter

For eksternaliteter, såsom partikler og støj, benyttes ligeledes (Energistyrelsen 2017b). For eksternaliteter ifm. opstrømsemisjoner fra biogasproduktionen (både CO₂ og ikke-CO₂) ses antagelser i bilag 8.2.

Varme- og kørselsbehov

CO₂-skyggepriser beregnes for middelvarmebehov til opvarmning samt middelkørselsbehov til transport.

Det vises i kapitel 6.4.2, hvordan et længere årligt kørselsbehov vil sænke CO₂-skyggeprisen for elbiler, hvilket understreger at CO₂-skyggepriser ved middelbehov ikke er repræsentativt for alle typer forbrug.

3.5 De største usikkerheder i analysen

Usikkerhed om reduktionsbehovet

I analysen er der taget udgangspunkt i Energistyrelsens basisfremskrivning og et skønnet ekstra reduktionsbehov over perioden på 28 mio. ton CO₂. Dette skøn er imidlertid forbundet med en betydelig usikkerhed. Forskellige forhold kan trække i retning af et højere reduktionsbehov – fx øget vækst, som typisk øger transportarbejdet og industriens aktivitetsniveau og dermed CO₂-udledninger fra disse sektorer eller vækst i landbrugsproduktion, som kan opveje de løbende effektivitetsforbedringer. Omvendt er der også forhold, som trækker i retning af at begrænse mankoen – fx strukturudvikling af erhvervene, EU-regulering af bilers udledninger mv. Dette vil ændre på hvor mange tiltag, man har brug for, men ikke det indbyrdes konkurrenceforhold mellem de forskellige tiltag.

Usikkerhed om omkostninger ved tiltag

En anden betydelig usikkerhed knytter sig til vurderingen af CO₂-skyggeprisen på de grønne tiltag. Det gælder først og fremmest fremtidens teknologiomkostninger. Et eksempel er endnu større fremskridt for elbilbatterier (ud over, hvad der er antaget), hvilket kan accelerere udfasning af benzin og diesel inden for person- og tung transport. En anden usikkerhed gælder udvikling i brændselspriser, hvor en forudsætning om lavere eller højere priser på fossile brændsler både kan rykke på konkurrenceforholdet mellem forskellige grønne teknologier og samlet gøre pakken af klimatiltag dyrere eller billigere.

Analysen medtager ikke instrumentomkostning (dvs. omkostninger til at få gennemført tiltagene), herunder omkostninger forbundet med afgiftsforvridninger eller dødvægtstab ved tilskud. Virkemiddelomkostninger kan både forrykke konkurrenceforhold mellem tiltag og vil alt andet lige trække i retning af en højere omkostning ved at gennemføre den samlede pakke.

Usikkerhed knyttet til realiserbarhed af CO₂-reduktionspotentialer

Analysens metode giver anledning til usikkerhed ift. CO₂-fortrængningsmængder, fordi der træffes valg om mulig indfasningsmængde samt -hastighed frem mod 2030. Det er således valgt at lade MAC-kurven illustrere forskellige klimatiltags indbyrdes konkurrenceforhold fremfor at lade den bedste teknologi udfylde hele potentialet. Fx er det antaget, at varmepumper ikke kan erstatte alle oliefyr, hvorfor der også er et rest-potentiale til træpillefyr, uanset at disse er samfundsøkonomisk dyrere. Hvis forbrugere ikke vil købe den billigste teknologi (fx varmepumper) i den antagne mængde, er dette potentiale overvurderet, og tilsvarende vil potentialet for næstbilligste teknologi (fx fliskedler) være undervurderet. De beregnede CO₂-fortrængningsmængder for teknologier kan derfor være både over- og undervurderede. Denne usikkerhedskilde giver anledning til usikkerhed om den samlede omkostning ved pakken af klimatiltag.

4 CO₂-skyggepriser i sektorer

I kapitlet er beregnet samfundsøkonomiske omkostninger til transport (kr/km) og opvarming (kr/GJ) i 2020 og 2030 for forskellige teknologier. Ved at sammenligne alternativerne med den konventionelle teknologi findes CO₂-skyggepriser i de forskellige sektorer. Inden for opvarmning er der en generel tendens til, at eldrevne varmepumper leverer billigste CO₂-reduktioner. Inden for persontransport er CO₂-reduktionerne på den korte bane dyrere, men bl.a. faldende batteripriser mindsker spændet og gør elbiler med længere batterirækkevidde attraktive. Inden for tung transport er (bio)gas blandt de billigere tiltag. Kapitlet indeholder for hver sektor et estimat for maksimal indfasning af alternative teknologier frem mod 2030, hvilket er afgørende for hvor meget CO₂-fortrængning, der efterfølgende kan leveres.

Dansk Energi har analyseret de fem sektorer, der tilsammen udgør langt størstedelen af det nuværende fossile brændselsforbrug i ikke-kvoteområdet. Som det fremgår i **Figur 7**, er de fem sektorer:

1. Individuel opvarmning (opdelt på husstande med olie- og naturgasfyr)
2. Decentral fjernvarme
3. Erhverv (produktionserhverv og handel & service)
4. Persontransport
5. Tung transport (opdelt på lastbiler og busser)

Hver sektor beskrives efter følgende skabelon i de næste delkapitler:

- **Forventninger til udvikling.** Her vises historisk udvikling i fx brændselsforbrug og fremskrivning af forbrug. Desuden diskuteres forskellige koncepter og drivere, som kan have indflydelse på udviklingen i sektoren i fremtiden.
- **Samfundsøkonomiske omkostninger.** Her vises omkostninger i 2020 og 2030 for den fossile reference og alternative teknologier inden for sektoren. Et overblik over disse findes på Figur 7.
- **Indfasning og CO₂-skyggepris frem mod 2030.** På baggrund af de samfundsøkonomiske omkostninger i 2030 estimeres maksimale indfasninger for alternative teknologier frem mod 2030 inden for hver sektor. For de udvalgte alternative teknologier vises CO₂-skyggepriser for de tre indfasningsprofiler samt tilhørende CO₂-reduktionsmængde. Det er disse data, der vises på MAC-kurven.

4.1 Individuel opvarmning

I forhold til non-ETS-mål drejer det sig inden for individuel opvarmning om at reducere forbruget af olie og naturgas. Dette kan gøres med individuelle grønne alternativer (biomasse, solvarme, varmepumper), gennem kollektive løsninger (konvertering til fjernvarme eller biogas i gasnettet), eller ved at energirenovere boligen.

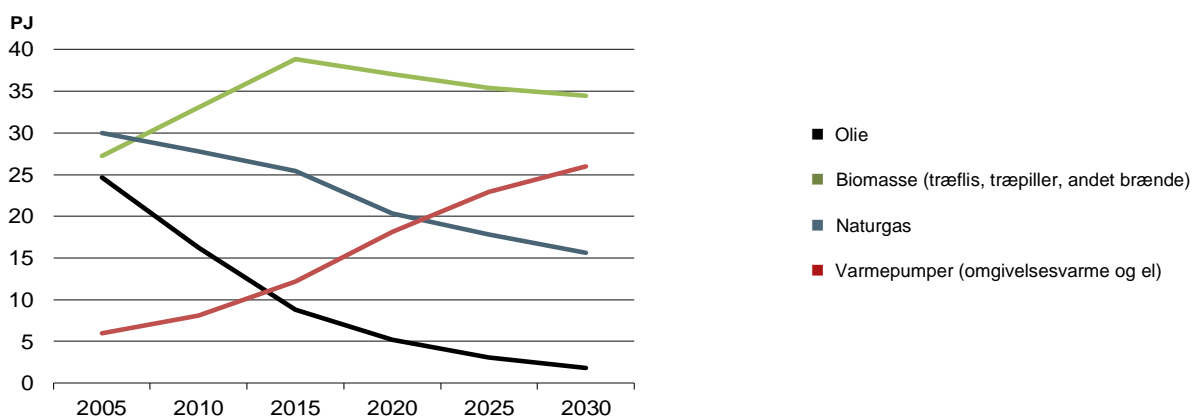
4.1.1 Forventninger til udvikling – Faldende olie og naturgasforbrug

På Figur 11 ses forbruget af brændsler i husholdninger fra 2005-2030, hvor der ses et kraftigt fald i forbruget af olie, hvilket er blevet erstattet af biomasse og varmepumper. Der er også et mindre fald i naturgasforbruget.

I BF2017 fremskrives nettovarmeforbrug og brændselsforbrug fra 2015-2030. Energibesparelser forventes at reducere nettovarmebehovet i husstande med ca. 10 PJ fra 2015-2030. Desuden forventes varmepumper at levere ca. 10 PJ ekstra nettovarmebehov. Dette medfører, at andre teknologier forventes at levere ca. 20 PJ mindre nettovarme, hvilket ifølge BF2017 er olie (ca. -5 PJ), gas (ca. -7 PJ), bio (ca. -2 PJ) og fjernvarme (ca. -6 PJ).

På figur 11 ses konsekvensen på forbruget af brændsler i husholdninger fra 2015-2030. Naturgasforbruget forventes at falde med ca. 10 PJ over perioden, mens olieforbruget næsten forsvinder. Biomasseforbruget i husholdninger forventes at have toppet og reduceres svagt over perioden frem til 2030. Varmeproduktionen fra varmepumper øges betragteligt over perioden. Særligt BF2017s forventning til udviklingen i varmepumper relativt til biomasse i husholdninger kræver, at fremtiden byder på andre forbrugervalg, end hvad der hidtil er set. Det er ikke muligt i beregningerne fra BF2017 at identificere den konkrete substitution af fx olie- og naturgasfyr, men overordnet set er det energibesparelser, varmepumper, mere biogas samt nyere olie- og gasfyr, som er årsag til den fortsatte reduktionen i olie- og gasforbrug frem mod 2030.

Figur 11 Husstandes forbrug af olie, naturgas, varmepumper⁴ samt biomasse fra 2005 til 2015 samt fremskrevet til 2030 ifølge BF20 17.



⁴ Varmepumpers forbrug er angivet som omgivelsesvarme og el, hvor elforbrug er beregnet med antaget gennemsnitlig COP stigende fra 3-3,5 fra 2005 til 2030.

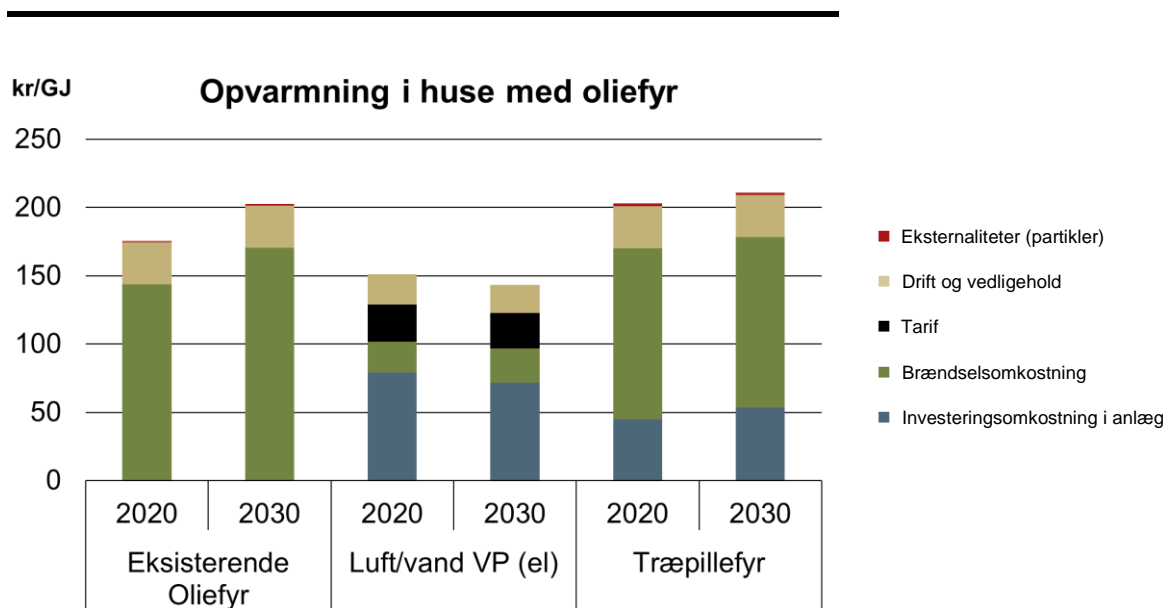
4.1.2 Samfundsøkonomiske omkostninger ved forskellige veje til at reducere olie og gasforbrug til opvarmning

Olieopvarmede huse

Olieopvarmede huse findes primært uden for større byer. Som vist i **Figur 11** er olieforbruget faldet betydeligt, og der er ca. 80.000 oliefyr tilbage i dag, som får leveret olie (kilde: Energi og Olieforum).

På **Figur 12** er vist samfundsøkonomiske omkostninger for eldrevne varmepumper og træpillefyr, som er blandt de mest oplagte individuelle løsninger som erstatning for eksisterende olieopvarmede huse.

Figur 12 Samfundsøkonomiske priser på boligopvarmning (uden CO₂-omkostning) i husstande med eksisterende oliefyr.

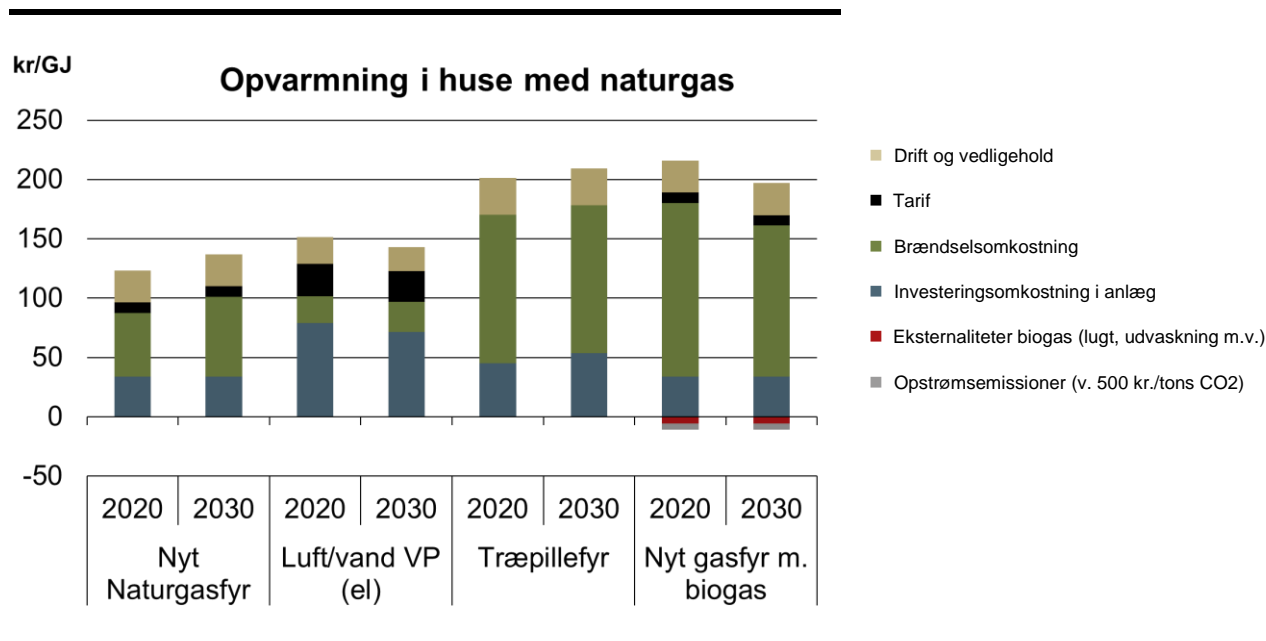


Figuren ovenfor viser, at luft-vand-varmepumpen er den billigste teknologi i både 2020 og i 2030.

Naturgasopvarmede huse

På **Figur 13** er vist nye individuelle opvarmingsløsninger i huse, der er tilsluttet gasnettet. Den samfundsøkonomisk billigste mulighed, når CO₂-emissionen ikke er lagt til som en omkostning, er en ny kedel med naturgas. Luft-vand-varmepumper er forventelig dyrere i 2020 end naturgaskedler, hvilket betyder en positiv CO₂-skyggepris. Varmepumper er dog betydeligt billigere end både nyt gasfyr med biogas samt træpillefyr, der begge har høje omkostninger til brændslet.

For biogas er medregnet værdien af eksternaliteter (lugt, kvælstofudvaskning, mv.) som en gevinst, hvilket trækkes fra den samfundsøkonomiske omkostning. Ift. CO₂-skyggeprisen medtages også fjernede opstrømsemmissioner i landbruget, som på figuren er illustreret ved en værdi med 500 kr./ton CO₂. Overordnet set er de samfundsøkonomiske omkostninger forbundet med biogas som klimatiltag, dog primært påvirket af produktionsomkostningen på biogas og kun i mindre omfang af de positive eksternaliteter fra biogasproduktionen.

Figur 13 Samfundsøkonomiske priser på boligopvarmning (uden CO₂-omkostning) i husstande med naturgas.

Energirenoveringer

Alternativt kan husholdningernes forbrug af naturgas og olie til opvarmning reduceres ved at energirenovere boligen.

Størstedelen af danske boliger får leveret varme fra kvoteomfattede anlæg, enten i fjernvarmeområderne eller fra større decentrale kraftvarmeværker. Energirenoveringer i disse boliger kan ikke bidrage til reduktioner uden for kvotesektoren. Det er derfor kun individuelt opvarmede boliger med olie- og naturgasfyr, som kan bidrage med non-ETS-reduktioner.

I denne analyse beregnes CO₂-skyggepriser for energirenovering af eksisterende olie- og naturgasopvarmede boliger for nogle af de mest almindelige energirenoveringer. Energirenoveringerne er inddelt i fem tiltag, som ses i tabellen nedenunder.

Tabel 3. Energirenoveringstiltag i individuelt opvarmede boliger.

Renoveringstiltag	Baseline	Tiltag 1	Tiltag 2	Tiltag 3
Udskiftning af vinduer	Boligen beholder sin eksisterende isolering, og undlader at energirenovere.	Klasse A	Klasse A+	
Efterisolering af gulve		50 mm	100 mm	150 mm
Efterisolering af tag/loft		100 mm	200 mm	300 mm
Efterisolering af vægge		100 mm	200 mm	300 mm
Installation af mekanisk ventilation med varmegenvinding		-		

For samtlige tiltag – med undtagelse af den mekaniske ventilation – beregnes CO₂-skyggeprisen og tilhørende reduktion for tre forskellige niveauer af tiltaget. CO₂-skyggepriserne og de tilsvarende reduktionsmængder tager udgangspunkt i, at energirenoveringerne foretages løbende – og derfor til de såkaldte marginale omkostninger (dvs. kun direkte omkostninger til energirenoveringen, hvorimod øvrig samtidig renovering af hus ikke medregnes). Beregningsmetode, renoveringstiltag og anvendt data er beskrevet yderligere i bilag 8.1.

4.1.3 Indfasning og CO₂-skyggepris frem til 2030

Olieopvarmede huse

Luft-vand-varmepumper er forventeligt samfundsøkonomisk billigere end eksisterende oliefyr samt træpillefyr i 2020, og forskellen forventes at øges frem mod 2030. Det er særligt besparelsen i brændselsomkostning til el frem for olie og træpiller, der er årsag til besparelsen. CO₂-skyggeprisen er hermed negativ for luft-vand-varmepumper ift. oliefyr, fordi der både spares penge og CO₂ ved udskiftning med eldrevne varmepumper.

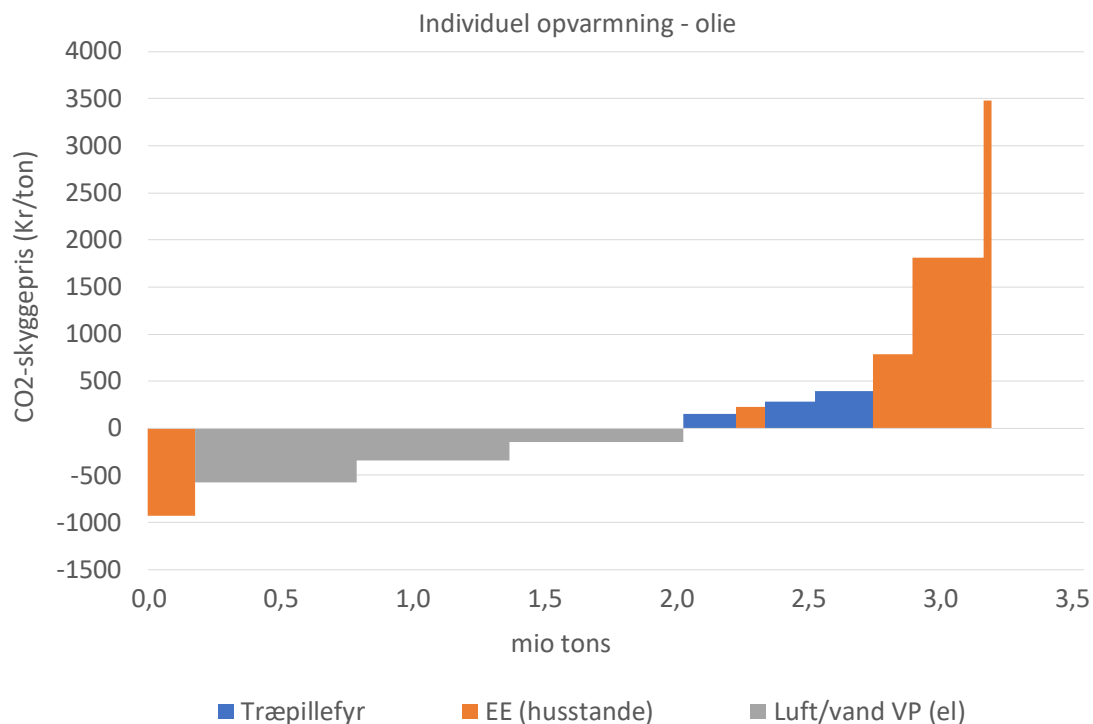
I **Tabel 4** er opsummeret resultater og antagelser for teknologierne, der medtages i MAC-kurven. Luft-vand-varmepumper er det billigste alternativ til oliefyr, og for at opnå billigste CO₂-fortrængning er det antaget, at de kan erstatte max 60 % af varmebehovet, der i dag dækkes af olie. Selvom den samfundsøkonomisk billigste CO₂-fortrængning kommer fra varmepumper, kan der være flere forklaringer på, at det ikke muligt at få varmepumper i alle huse. Eksempelvis på grund af høje krav til fremløbstemperatur eller generelle forbrugervalg. Den resterende CO₂-fortrængning antages i analysen derfor delt mellem muligheden for energibesparelser i forbindelse med energirenovering af bygninger med oliefyr, samt installation af træpillefyr.

Forventningen om højere oliepris i fremtiden sænker CO₂-skyggeprisen for både eldrevne varmepumper og træpillefyr frem mod 2030. Eftersom varmepumper er billigere i hele perioden, vil gevinsten være størst, jo hurtigere eksisterende oliefyr kan udskiftes. I **Tabel 4** er vist, at lineær udskiftning frem mod 2030 svarer til ca. 3,1 mio. ton reduktion fra 2021-2030. Hvis det er muligt at udfase oliefyr hurtigere end dette, vil det både spare ekstra CO₂ samt samfundskroner.

Energibesparelser ifm. udskiftning af vinduer i olieopvarmede huse kan give en CO₂-reduktion på ca. 0,2 mio. ton over perioden og har lavere CO₂-skyggepris end varmepumper. De resterende energibesparelser ifm. udskiftning af tage, gulve, vægge og ventilation har dog højere CO₂-skyggepris og er dermed ikke at foretrække frem for varmepumper som tiltag for at reducere olieforbruget.

Tabel 4. Fortrængning af eksisterende oliefyr. Antagelser om, hvor stor en del af potentialet, der maksimalt kan dækkes med varmepumper, træpillefyr samt energibesparelser (jf. Figur 15) samt de tilhørende kumulerede CO₂-reduktioner og marginale CO₂-skyggepriser for hhv. lineær, gradvis og sen indfasningsprofiler.

Max CO ₂ -fortrængning fra oliefyr 2021-2030: 3,1 mio. ton (lineær)	% af max fortrængning i 2030	CO ₂ -kumuleret fortrængning 2021-2030 (mio. ton CO ₂)			CO ₂ -skyggepris (kr/ton CO ₂)		
		Lineær	Gradvis	Sen	Lineær	Gradvis	Sen
Luft-vand-varmepumpe (COP = 3,3)	60 %	1,8	1,2	0,6	-147	-339	-577
Træpillefyr	20 %	0,6	0,4	0,2	391	286	155
Energibesparelse	100 % af energirenoveringer⁵	0,73					
Vindue		0,17			-926		
Tag		0,11			228		
Gulv		0,15			787		
Væg		0,27			1809		
Ventilation		0,03			3480		



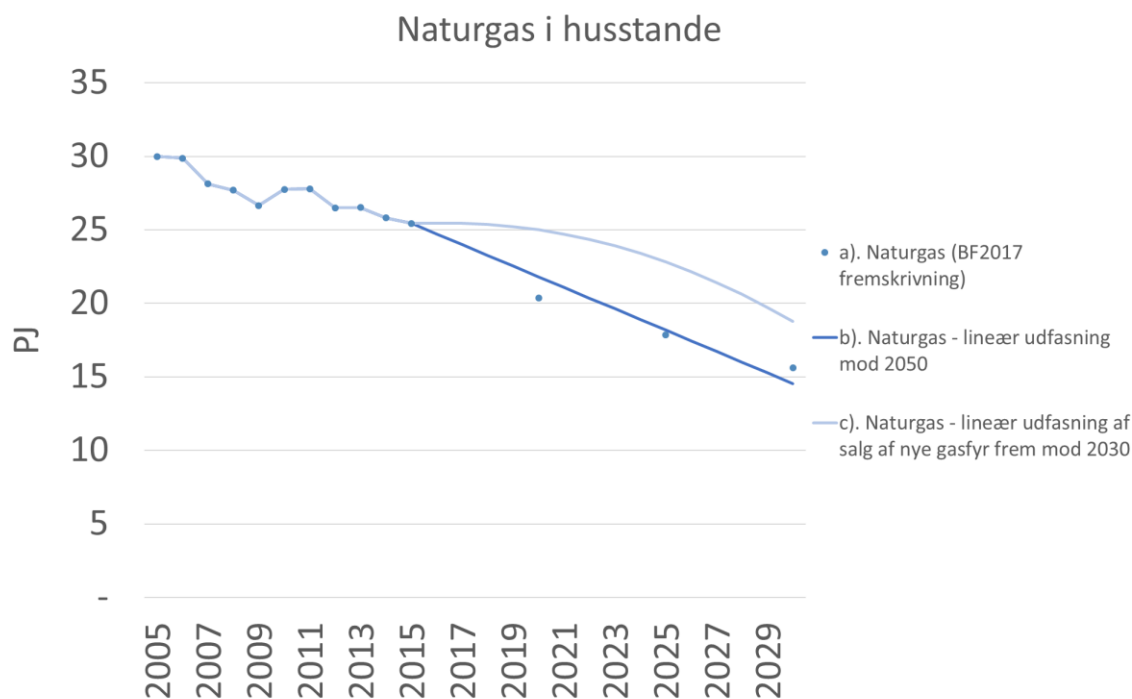
⁵ 100 % af forventet energirenoveringer af boliger i perioden 2021-2030.

Naturgasopvarmede huse

Der er ca. 400.000 huse, som i dag er forsynet med naturgas. Dette svarer ca. til 25 PJ forbrug naturgas. Ifølge Basisfremskrivningen forventes naturgasforbruget til opvarmning at falde med ca. 40 % frem mod 2030 svarende til forløb a) på nedenstående figur til ca. 16 PJ forbrug i 2030. Dette er omtrent det samme som en lineær udfasning af naturgas frem mod 2050 – forløb b) på nedenstående figur.

Som illustration af andet udfasningsforløb er vist lineær udfasning af salget af gasfyr frem mod 2030. Dette vil sænke naturgasforbruget med ca. 30 % i 2030 – forløb c)⁶ på nedenstående figur.

Figur 14 Naturgasforbrug i husstande frem mod 2030 i tre scenarier



På baggrund af disse fremskrivninger antages max fortrængning af naturgas i individuel opvarmning at være 40 %, altså svarende til niveauet i Basisfremskrivningen.

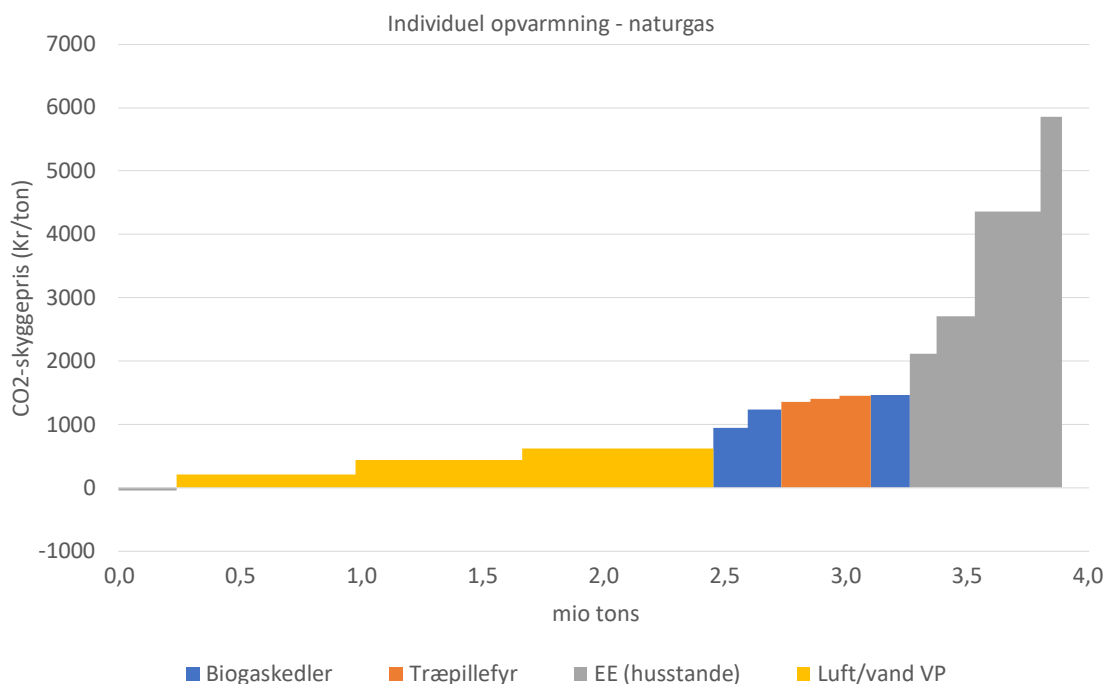
CO₂-skyggeprisen i **Tabel 5** er beregnet ift. et nyt naturgasfyr, hvilket betyder, at mængden af fortrængt naturgas skal afspejle et gasforbrug, der kan fortrænges fra nye naturgasfyr. Her er 40 %-reduktion i 2030 et højt, men realistisk estimat.

For at opnå samfundsøkonomisk billigste omstilling (jf. **Figur 13**) antages det, at eldrevne varmepumper kan bidrage med 30 %-point reduktion i naturgasopvarmningen, samt træpiller og biogas med hhv. 5 %-point hver.

⁶ Der sælges ca. 15.000 nye gasfyr hvert år. Gasfyr eller hybridanlæg koblet med brug af grøn gas vil være additionalt til gasforbrug ift. forløb c.

Tabel 5. Fortrængning af nyt naturgasfy. Antagelser om max. fortrængning for varmepumper, træpillefy samt energibesparelser (jf. Figur 15) samt de tilhørende kumulerede CO₂-reduktioner og marginale CO₂-skyggepriser for hhv. lineær, gradvis og sen indfasningsprofiler.

Max CO ₂ -fortrængning naturgasfy 2021-2030: 7,4 mio. ton (lineær)	Potentiale (% af max fortrængning i 2030)	CO ₂ -kumuleret fortrængning 2021-2030 (mio. ton CO ₂)			Marginal CO ₂ -skyggepris (kr/ton CO ₂)		
		Lineær	Gradvis	Sen	Lineær	Gradvis	Sen
Luft-vand-varmepumpe (COP = 3,3)	30 %	2,2	1,4	0,7	622	440	213
Træpillefy	5 %	0,4	0,2	0,1	1457	1409	1349
Biogas fy	5 %	0,4	0,3	0,1	1463	1231	944
Energibesparelse	100 % af energireno- veringer⁷	0,87					
Vindue		0,24			-44		
Tag		0,11			2116		
Gulv		0,16			2703		
Væg		0,27			4358		
Ventilation		0,09			5850		

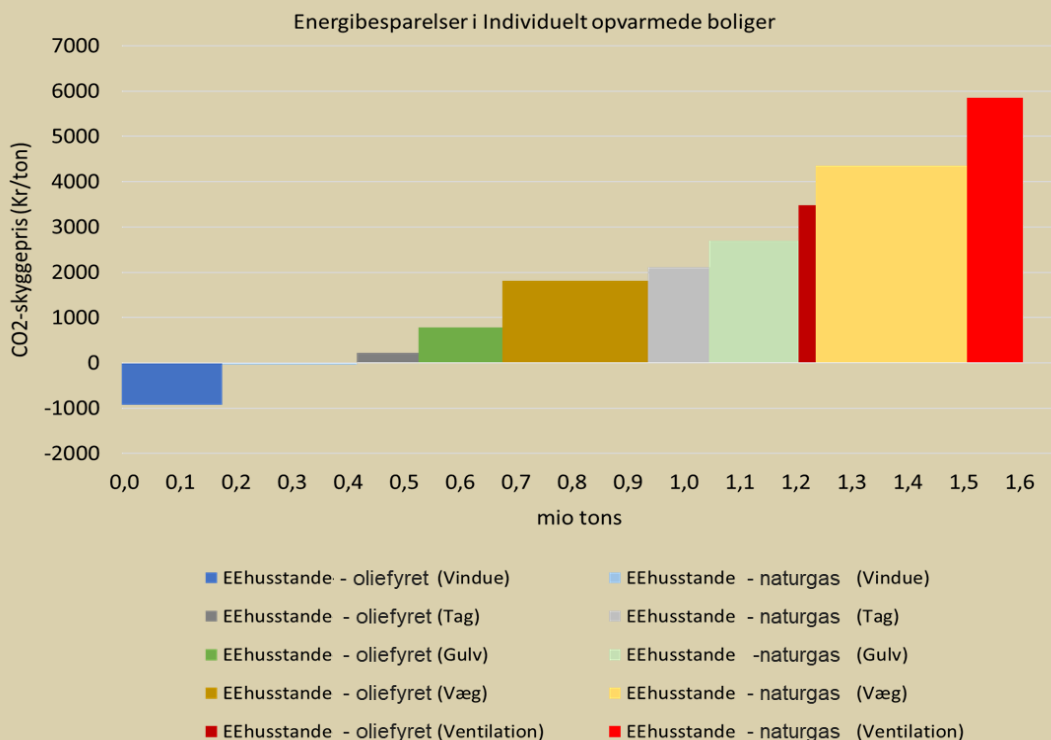


⁷ 100 % af forventet energirenoveringer af boliger i perioden 2021-2030.

Forskellige vurderinger af energirenovering af bygninger

Dansk Energi finder i denne analyse, at energirenoveringer af individuelt opvarmede boliger ikke er blandt de mest centrale tiltag til at opfylde målet for de ikke-kvoteomfattede sektorer 2021-30 - hvis det skal gøres samfundsøkonomisk omkostningseffektivt. I Figur 15 nedenfor ses CO₂-skyggepriser for de analyserede energirenoveringstiltag i individuelt opvarmede boliger med eksisterende oliefyr eller naturgas

Figur 15. CO₂-skyggepriser for forskellige energirenoveringstiltag



Den samlede mængde CO₂-reduktioner, som energirenoveringer kan bidrage med over perioden 2021-2030, er omkring 1,6 mio. ton CO₂. Heraf har knap 0,7 mio. ton en skyggepris under 1000 kr./ton. Udskiftning af vinduer i en olieopvarmet bolig vurderes at give en samfundsøkonomisk gevinst. For resten af renoveringstiltagene er der samfundsøkonomiske omkostninger. Her overstiger værdien af energibesparelserne investeringsomkostningerne. Efterisolering af tag/loft er dog et relativt billigt tiltag, hvorimod vægisolering er blandt de dyreste tiltag. Figuren viser, at omkostningerne ved at fortrænge naturgas er højere end ved fortrængning af den dyrere og mere CO₂-intensive fyringsolie.

I juni 2017 udgav Klimarådets analysen *Omstilling frem mod 2030*. Her fandt Klimarådet, at energirenoveringer af boliger er det samfundsøkonomisk mest fordelagtige klimatiltag. Derfor er energirenoveringer også blandt de 10 omstillingselementer, som Klimarådet anbefaler i deres 2030-klimapakke.

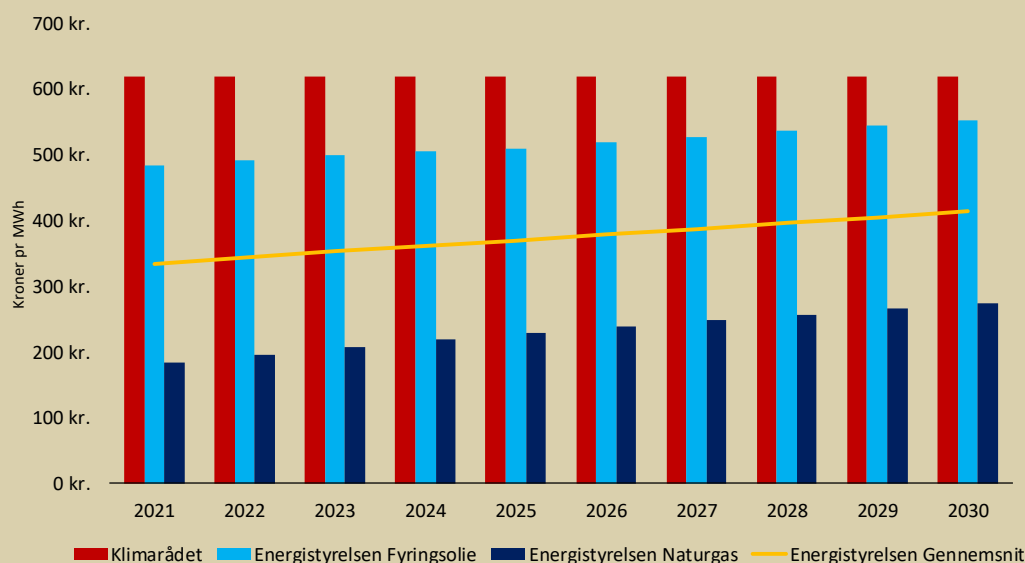
Samme potentiale – men til forskellige priser

Hvis man sammenligner resultaterne fra Klimarådet og Dansk Energis arbejde, ses det, at de to analyser finder stort set det samme overordnede reduktionspotentiale for energirenoveringer. Klimarådet finder, at energirenoveringer kan reducere CO₂-udledningerne med 1,4 mio. ton over perioden 2021 til 2030, hvilket er ganske tæt på de ovennævnte 1,6 mio. ton i Dansk Energis analyse. Der er imidlertid en betydelig forskel i vurderingen af CO₂-skyggeprisen. Ifølge Klimarådet har det samlede energirenoveringspotentiale en CO₂-skyggepris på omkring -450 DKK pr. ton, hvilket vil sige, at energirenoveringer vil lede til et samfundsmæssigt overskud. Dansk Energi finder derimod en gennemsnitlig CO₂-skyggepris ved renovering på omkring +1.800 DKK pr. ton.

Forskellige vurderinger af energirenovering af bygninger (fortsat)

De ret forskellige skyggepriser kan forklares med, at de to analyser har forskellige antagelser om de fremtidige energipriser og dermed værdien af at bruge mindre energi. Klimarådets anvender fremtidige energipriser, som baserer sig på beregninger af de gennemsnitlige varmeforsyningsomkostninger frem mod 2050, udarbejdet af AAU. Dansk Energi anvender i stedet fremtidige brændselspriser for perioden 2021-2030 fra Energistyrelsens beregningsforudsætningskatalog. Som det fremgår af **Figur 16** er Klimarådets anvendte energipriser markant højere end Dansk Energis anvendte energipriser i perioden.

Figur 16: Dansk Energi og Klimarådets anvendte energipriser



Kilde: Dansk Energi på baggrund af Klimarådet og Energistyrelsen

De samlede gevinster ved energirenoveringer påvirkes i høj grad af de fremtidige energipriser. Når Klimarådet anvender højere fremtidige energipriser, vil de økonomiske gevinster, man opnår ved energirenoveringer - alt andet lige - blive højere end hvis de havde anvendt energipriser fra Energistyrelsen. Og derfor er Klimarådets CO₂-skyggepriser lavere end Dansk Energis.

Det skal desuden bemærkes at ved en omlægning af varmeforsyningen til varmepumper eller fjernvarme vil varmeforsyningens marginale omkostninger blive lavere og fri for ikke-kvoteomfattede emissioner. (Energifonden 2017) peger på samfundsøkonomiske omkostninger i spændet 270-420 kr./MWh.

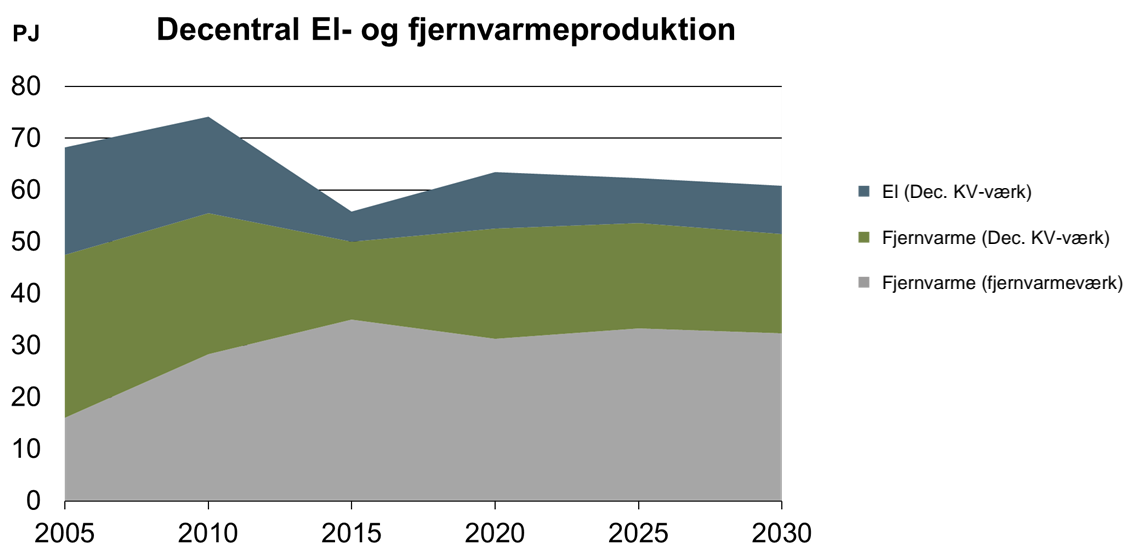
4.2 Decentral fjernvarme

4.2.1 Forventninger til udvikling

Fjernvarmeproduktionen uden for de centrale områder (fra decentrale fjernvarme- og kraftvarmeværker) har ligget på ca. 50 PJ siden 2005 og forventes ifølge **Figur 17** at fortsætte på det niveau frem mod 2030. Det er dog kun en begrænset del heraf (anlæg med indfyret effekt under 20 MW), som hører til i den ikke-kvoteomfattede sektor.

Langt størstedelen af decentral elproduktion er fra gasmotor-anlæg, men forholdet mellem el- og naturgaspriser har gennem en årrække ført til meget reduceret kraftvarme-drift til et niveau på ca. 500 fuldlasttimer pr. år. Dette har ført til et markant fald i decentral elproduktion og dertilhørende naturgasforbrug. Med udløbet af grundbeløb ved udgangen af 2018 er der også mulighed for elproduktionskapacitet (motoranlæg) vil lukke. Ifølge fremskrivningen (BF2017) forventes fortsat høj ren fjernvarmeproduktion til fordel for kraftvarmeproduktion.

Figur 17 Produktion af el og varme på decentrale kraftvarme- og fjernvarmeværker (kilde: BF2017).



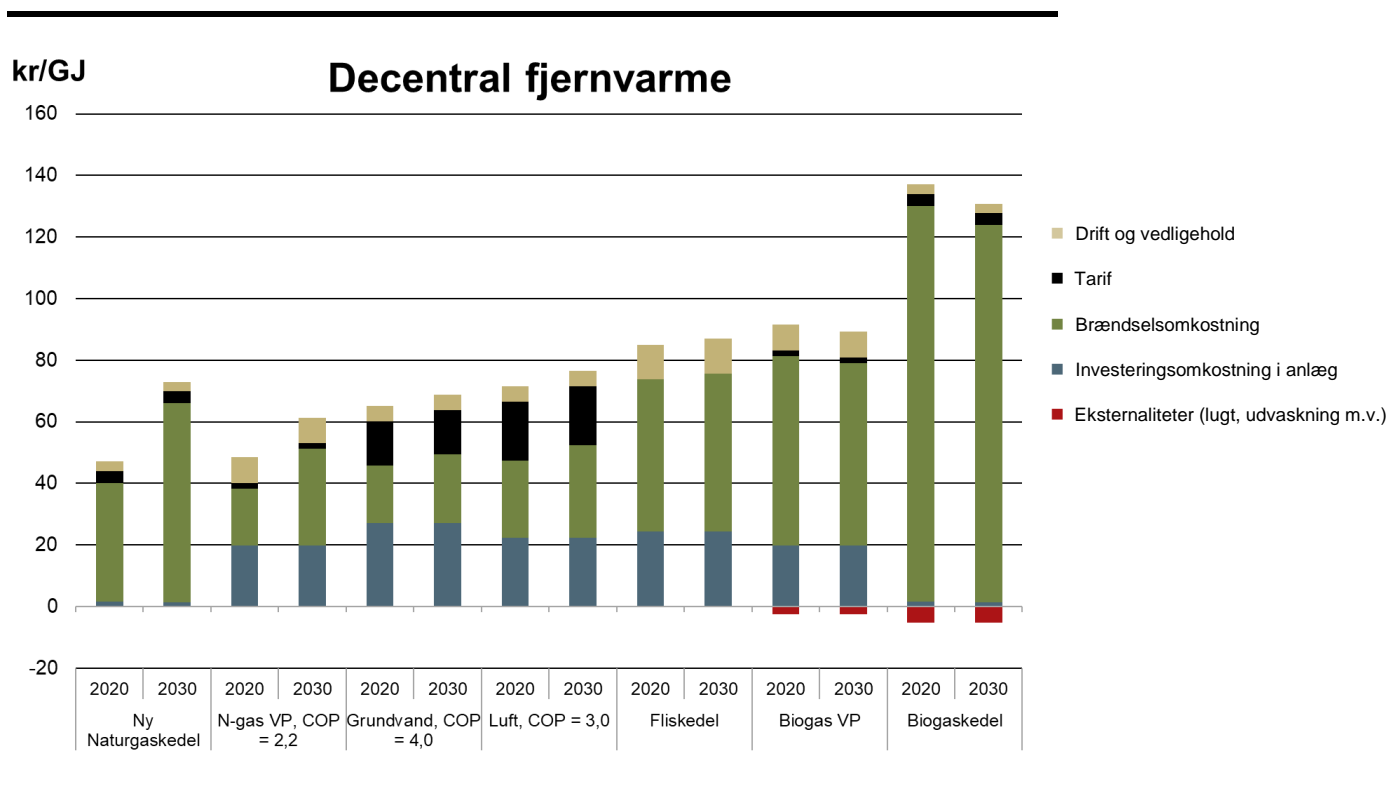
Reduktion på det ikke-kvoteomfattede område kan opnås gennem reduceres brug af naturgas til fjernvarmeproduktion på de mindste værker (under 20 MW indfyret effekt). Tendensen peger på ny varmeproduktion uden elkapacitet. Der er ca. 20 PJ naturgasforbrug tilbage, hvoraf ca. en tredjedel er uden for kvotesektoren.

Basisfremskrivningen forventer, at forbruget af naturgas vil falde frem mod 2030, primært drevet af mindre naturgas til ren fjernvarmeproduktion. Derudover forventer BF2017 udbygning af træbaseret varmeproduktion på kedler samt et lille bidrag fra varmepumper frem mod 2030.

4.2.2 Samfundsøkonomiske omkostninger

På **Figur 18** er vist samfundsøkonomiske varmepriser for en række teknologier til produktion af decentral fjernvarme (kraftvarme samt sol er ikke medtaget).

Figur 18 Samfundsøkonomiske varmepriser på decentralt fjernvarmeværk (kilde: Energistyrelsens 2016). Naturgas og Biogas VP er ens, på nær brændselsomkostningen til hhv. naturgas og biogas.



Det ses, at den samfundsøkonomiske varmeproduktionsomkostning (uden CO₂) i 2020 er lavest for naturgaskedler, men at forventningen om stigende naturgaspris mod 2030 vil øge omkostningen til samme niveau som grundvandsvarmepumper.

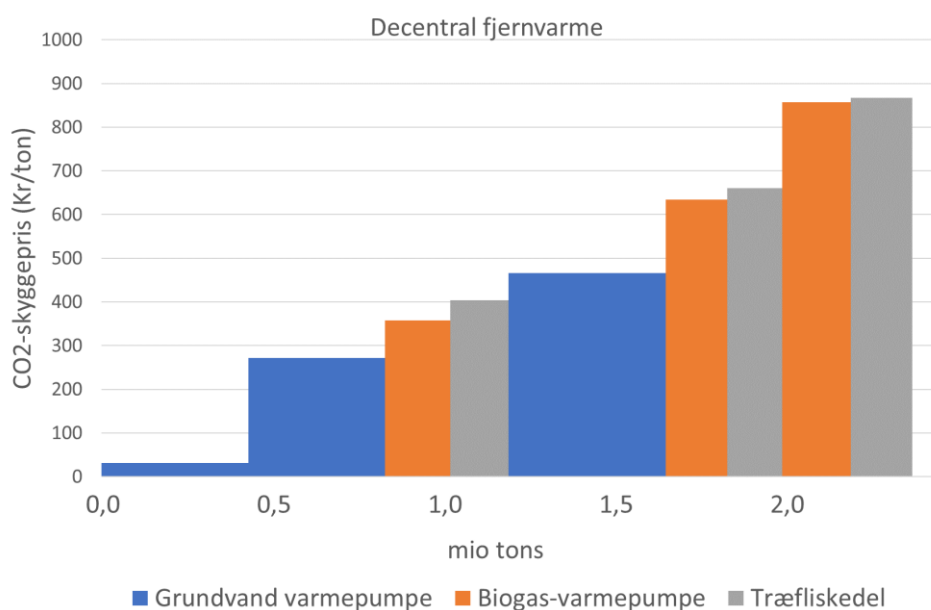
Eldrevne store varmepumper (grundvandsvarmepumper) har samfundsøkonomisk lavere varmepris end ny fliskedel, ny biogasvarmepumpe eller ny biogaskedel, der alle har et betydeligt dyrere brændsel.

4.2.3 Indfasning og CO₂-skyggepris frem til 2030

For at opnå billigste samfundsøkonomiske fortrængning af naturgas fra decentral fjernvarme skal der altså installeres flest mulige eldrevne store varmepumper. Det antages, at grundvandsvarmepumper kan fortrænge maksimalt halvdelen af det ikke-kvoteomfattede naturgasforbrug, og at 20 %-point kan fortrænges med hhv. træfliskedler og biogas i fjernvarmen.

Tabel 6. Fortrængning af naturgasfyret decentral fjernvarme.

Max CO ₂ -fortrængning fra naturgas fjernvarme i nonETS 2021-2030: 2,6 mio. ton (lineær)	% af max fortrængning i 2030	CO ₂ -kumuleret fortrængning 2021-2030 (mio. ton CO ₂)			CO ₂ -skyggepris (kr/ton CO ₂)		
		Lineær	Gradvis	Sen	Lineær	Gradvis	Sen
Grundvandsvarmepumpe	50 %	1,3	0,8	0,4	466	272	32
Fliskedel	20 %	0,5	0,3	0,2	868	660	403
Biogas VP	20 %	0,6	0,4	0,2	807	584	306



4.3 Erhverv (Produktionserhverv og handel/service)

4.3.1 Forventning til udvikling

I Basisfremskrivningen forventes stort set ingen energieffektivisering i erhverv, fordi energiselskabernes energiforpligtelse antages at ophøre efter 2020.

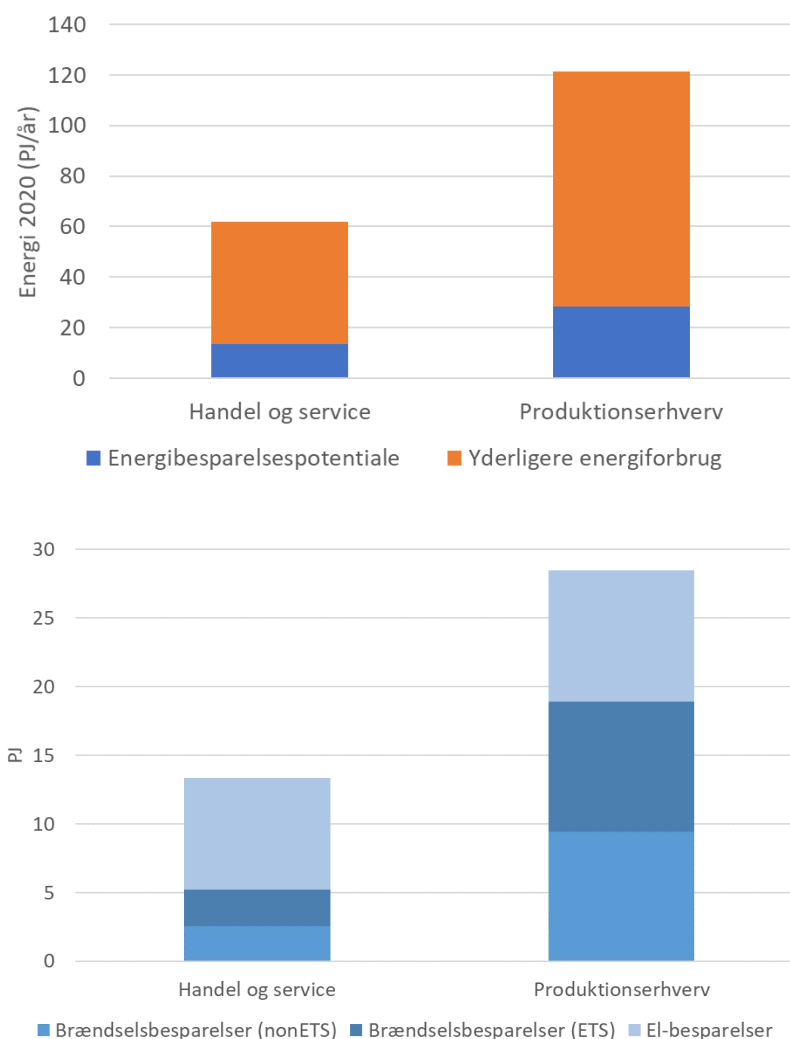
Der er i analysen lavet en vurdering af potentialerne og omkostninger til CO₂-fortrængning i erhverv. Potentialerne i erhvervene er opgjort som summen af mere effektive anlæg, adfærd, lavere slutenergibehov og brændselskonvertering osv. Potentialerne er opgjort således:

- Opdelt i produktionserhverv samt handel og service
- Opdelt i ETS og non-ETS
- Opdelt på 9 aggregerede slutanvendelser (se bilag 8.4.1)
- Opdelt på el, fjernvarme, brændsler (naturgas, olie og andre)
 - Hermed kan findes vægtede brændselsomkostninger samt CO₂-indhold for hver slutanvendelse.
 - Det er kun reduktion i fossilt brændselsforbrug, som regnes for at bidrage til CO₂-reduktioner i non-ETS

For hvert potentiale er, ud over energibesparelspotentialet (PJ), også estimeret en privatøkonomisk tilbagebetalingstid i år 2020 på baggrund af fremskrivning af tidligere potentialeanalyse⁸ samt antagelse om uændrede afgifter.

Samlet findes et 2020-besparelspotentiale med max ti års privatøkonomisk tilbagebetalingstid på ca. 28 PJ/år i produktionserhverv og ca. 13 PJ/år i handel og service. Dette svarer til ca. 22-23 % af det samlede energiforbrug i både produktionserhverv samt handel og service.

Figur 19 (øverst) Energisparepotentialet med max ti års tilbagebetalingstid ift. samlet energiforbrug i handel og service og produktionserhverv. (nederst) Energibesparelspotentialet neddelte på el og brændselsbesparelser, hvoraf sidstnævnte er yderligere neddelte på ETS og nonETS.



På **Figur 19** ses det, at produktionserhvervene har et markant større potentiale for at fortrænge fossile brændsler end i handel og service.

⁸ (COWI, 2015). Potentiale i 2015 er dokumenteret. Hertil er tilføjet realiserede energibesparelser 2015-2020 samt nye energieffektiviseringspotentiale 2015-2020 (Viegand & Maagøe 2017).

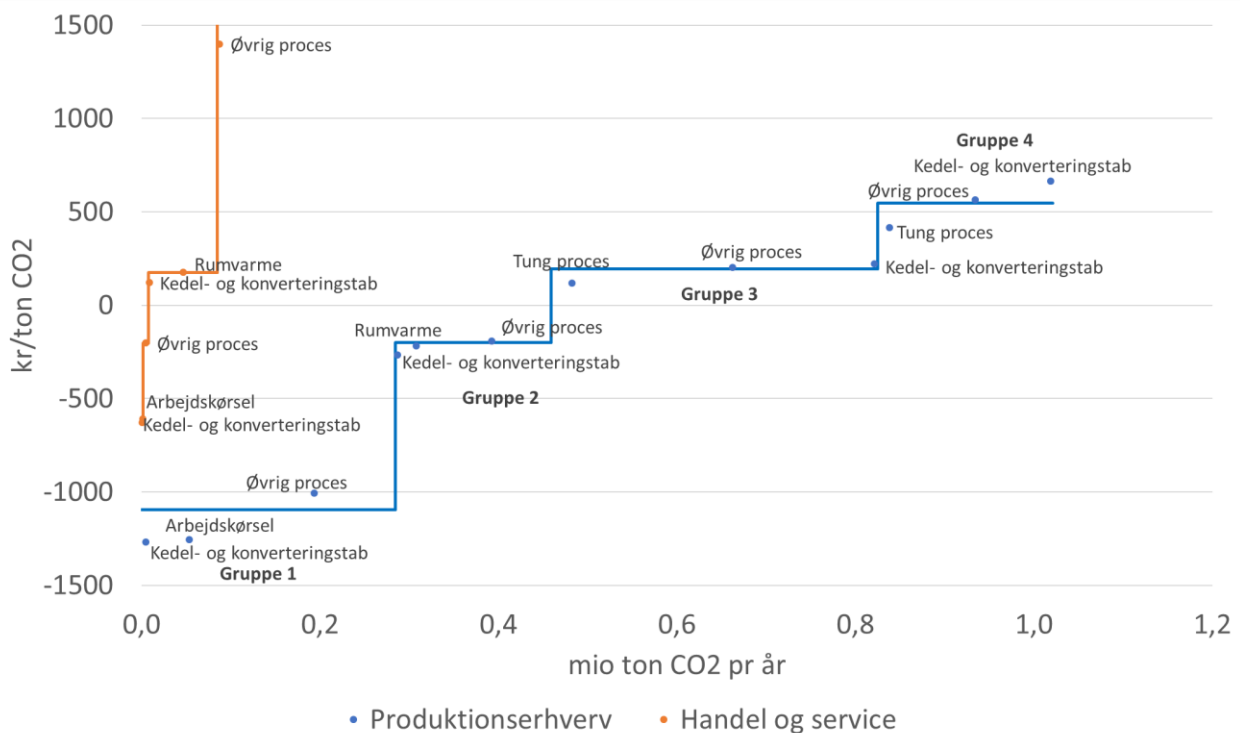
Brændselsbesparelserne inden for produktionserhverv og handel og service er omregnet til CO₂-reduktioner. Samlet set er max fortrængning hhv. ca. 1 og 0,1 mio. ton CO₂ pr. år i 2020.

4.3.2 Samfundsøkonomiske omkostninger

De samfundsøkonomiske omkostninger for energibesparelspotentialerne samt de tilhørende samfundsøkonomiske gevinster (samfundsøkonomiske besparelser i brændselsforbrug minus omkostninger ifm. potentialet uden virkemidler) er ligeledes beregnet. Da der er stor usikkerhed om omkostningerne til energibesparelserne, antages det, at besparelserne er konstante over perioden 2021-2030.

På **Figur 20** er vist CO₂-skyggepriser inden for hhv. produktionserhverv samt handel og service. Da der er regnet på en række slut anvendelser, er disse grupperet i fire niveauer inden for hhv. produktionserhverv og handel og service for at repræsentere forskellige niveauer af CO₂-skyggepriser og de tilhørende fortrængningsmængder.

Figur 20 Fire grupper af CO₂-skyggepriser inden for handel og service samt produktionserhverv ud fra analyse af aggregerede slut anvendelser.



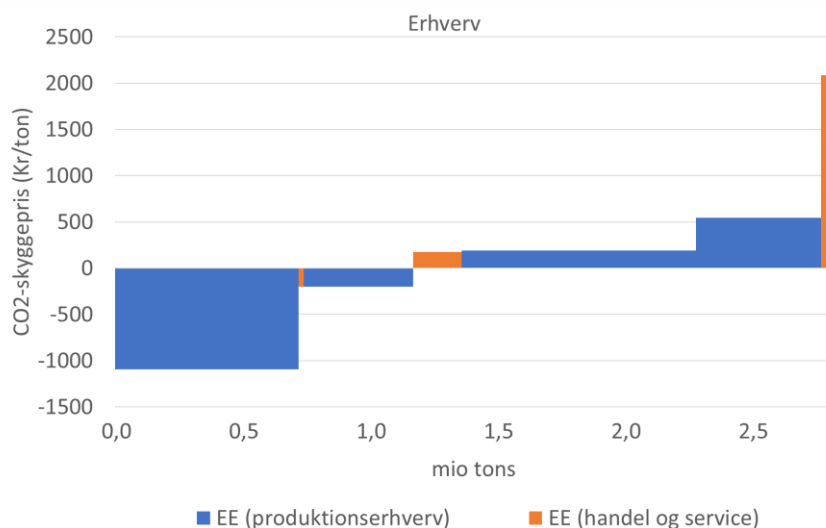
4.3.3 Indfasning og CO₂-skyggepris frem til 2030

Det antages, at hele energibesparelspotentialet i 2020 kan indfries frem mod 2030, dvs. der antages lineær indfasning af energibesparelserne, hvorved der opnås en reduktion på max 2,8 mio. ton i perioden 2021-2030.

I tabellen ses mængder og CO₂-skyggepriser i grupperne i hhv. produktionserhverv samt handel og service, som medtages i analysen.

Tablet 7. Fortrængning af naturgas/olie fra erhvervene (produktionserhverv og handel/service).

Max CO ₂ -fortrængning gas/olie 2021-2030: 2,8 mio. ton (lineær)	% af max fortrængning i 2030	CO ₂ -kumuleret fortrængning 2021-2030 (mio. ton CO ₂)			Marginal CO ₂ -skyggepris (kr/ton CO ₂)		
		Lineær	Gradvis	Sen	Lineær	Gradvis	Sen
Energieffektivisering Produktionserhverv	100 %	2,6					
Gruppe 1		0,71			-1096		
Gruppe 2		0,44			-201		
Gruppe 3		0,92			193		
Gruppe 4		0,49			545		
Energieffektivisering Handel og service	100 %	0,24					
Gruppe 1		0,005			-616		
Gruppe 2		0,02			-202		
Gruppe 3		0,19			175		
Gruppe 4		0,03			2084		



Potentialet for grøn gas i erhverv

Der er gasbehov i industrien, som vurderes kun at kunne blive dækket af gas. Ifølge (DGC 2013) er det muligt at konvertere ca. 88% af naturgassen i erhvervene, så de resterende 12% udgør et behov for grøn gas, såfremt al naturgas ønskes fortrængt fra industrien (og behovet fortsat er der på lang sigt). Dette gasbehov er ikke medtaget i analysen, og CO₂-skyggeprisen vurderes at følge biogas til erstatning af naturgas, som ifølge **Tablet 5** er på ca. 1000-1500 kr/ton.

4.4 Persontransport

4.4.1 Forventninger til udvikling

Der er ca. 2,5 mio. personbiler i Danmark, og personbiler er den sektor med det største enkeltstående CO₂-reduktionspotentiale uden for kvoteområdet.

Det er vanskeligt at spå om fremtiden for persontransport i Danmark, eftersom meget afhænger af politiske initiativer både i Danmark og omverdenen samt teknologisk udvikling inden for særligt elbiler.

Regulatoriske drivere for mere VE i transportsektoren

EU har via VE-direktivet pålagt EU's medlemslande et mål om 10% VE i landtransporten (tung transport inkl. tog samt personbiler) i 2020. Det er i høj grad (1.G.) biobrændstoffer som forventes at opfylde dette mål. Elbiler og grøn gas kan også bruges til at opfylde målet og tæller ekstra i regnskabet.

I Vinterpakkens forslag til nyt VE-direktiv foreslås et iblandingskrav for 2. g. biobrændstoffer på 1,5% fra 2012 stigende til 6,8% i 2030. Avancerede biobrændstoffer⁹ skal udgøre mindst 0,5% heraf, stigende til 3,6 % fra 2021 frem til 2030. 1.G. biobrændstoffer må max udgøre 1,7% i 2030 (kilde: Energistyrelsen).

I Danmark ligger VE-iblandingsforpligtelsen hos olieselskaberne. Der kan handles med andre virksomheder via såkaldte bio-tickets¹⁰ (og e-tickets) for at indfri forpligtelsen indenfor året.

EU sætter desuden krav til emissioner (gCO₂/km) for køretøjer som bilproducenterne skal overholde. Dette kræver enten forbedringer i brændselsmotor-teknologi, hybridløsninger eller en vis andel rene el/brintbiler for at leve op til de kommende krav. Desuden er særligt krav til NO_x-emissioner et problem for dieslbiler, som kan vise sig at sænke salget af dieslbiler markant.

Desuden findes nationale mål om sidste salgsdato for fossile biler som pt. ligger mellem år 2030 til 2040 i lande som fx Norge, Holland, Frankrig, England. Udenfor EU har bl.a. Kina og Californien sat krav til markedsandel af nulmissionsbiler.

Desuden spiller miljøzoner, indkørselsforbud i byzoner for bestemte teknologier samt særlige vilkår for fx kørsel i busbaner, p-pladser mv. en rolle i at fremme VE til transport. I København er bl.a. foreslået stop for nye dieslbiler.

4.4.2 Samfundsøkonomiske omkostninger

På **Figur 21** er vist samfundsomkostninger (uden CO₂-omkostning) for en række køretøjer opgjort i kr. pr. kørt kilometer for middelklassebiler med 17.500 km/år.

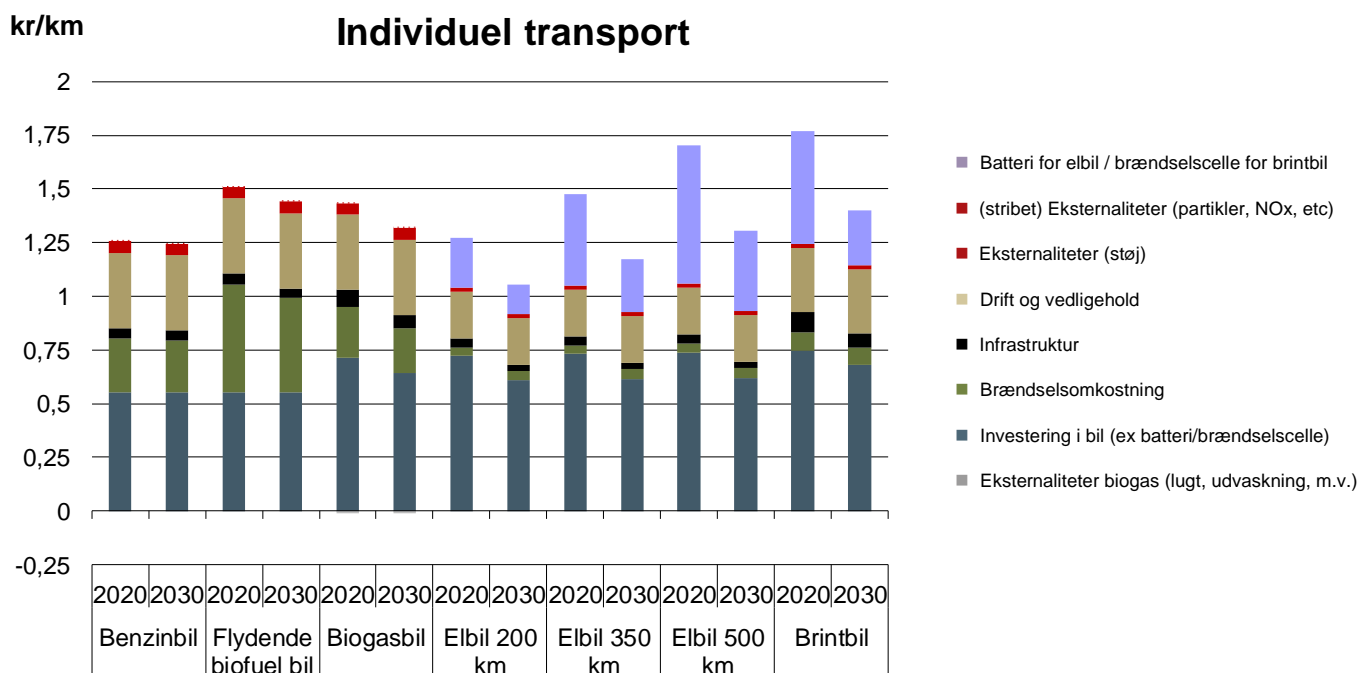
Overordnet set forventes konventionelle biler at være billigere i 2020 end grønne alternativer (undtagen elbiler med kortere batterirækkevidde).

⁹ 2. g. biobrændstoffer og avancerede biobrændstoffer består af affalds- og restprodukter, men visse råvarer, f.eks. brugt fritureolie kan bruges til 2. g. brændstoffer, men ikke til avancerede biobrændstoffer (kilde: Energistyrelsen)

¹⁰ https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Transport/haandbog_version_1.3.pdf

- Flydende biobrændstof (2.G) har betydelig højere brændselsomkostning end konventionel benzin/diesel, hvilket er den primære forskel, der hermed bestemmer CO₂-skyggeprisen.
- Gasbiler er dyrere i investering, og biogas er et dyrere brændsel, hvilket samlet set øger kilometeromkostning ift. benzin-/dieselbil
- Elbiler samt brintbiler har dyrere investering i hhv. batteri og brændselscelle. For særligt elbiler og brintbiler er omkostningen til brændsel (elomkostning) en lille del af den samlede samfundsøkonomiske kilometeromkostning.

Figur 21 Samfundsøkonomiske priser¹¹ på individuel transport. Elbiler er vist for scenariet med middel elbilprisudvikling. Prisen for batterier udgøres af nyanskaffelsespris samt fast drift og vedligehold af batteriet.



I 2020 er elbiler med lavere batterirækkevidde (200 km) på niveau med benzin-/dieselbil. Det ses på **Figur 21**, at særligt omkostningen til batteriet har betydning for samlet levetidsomkostning for elbiler, hvilket betyder, at elbiler med længere batterirækkevidde bliver dyrere.

4.4.3 Indfasning og CO₂-skyggepris frem til 2030

Det er antaget, at elbiler max kan udgøre ca. 25 pct. af alle personbiler i 2030 svarende til ca. 600.000 elbiler. Det antages at blive fordelt på max 5 pct.-point, max 15 pct.-point og max 5 pct.-point på hhv. elbiler med 200 km, 350 km og 500 km batterirækkevidde.

Biogas antages at kunne nå max 2 pct.-point pga. nuværende manglende gasinfrastruktur samt pga. konkurrencen fra elbiler. Flydende biobrændsel er begrænset til max 5 pct.-point, som er ca. på niveau med forventet EU-krav til

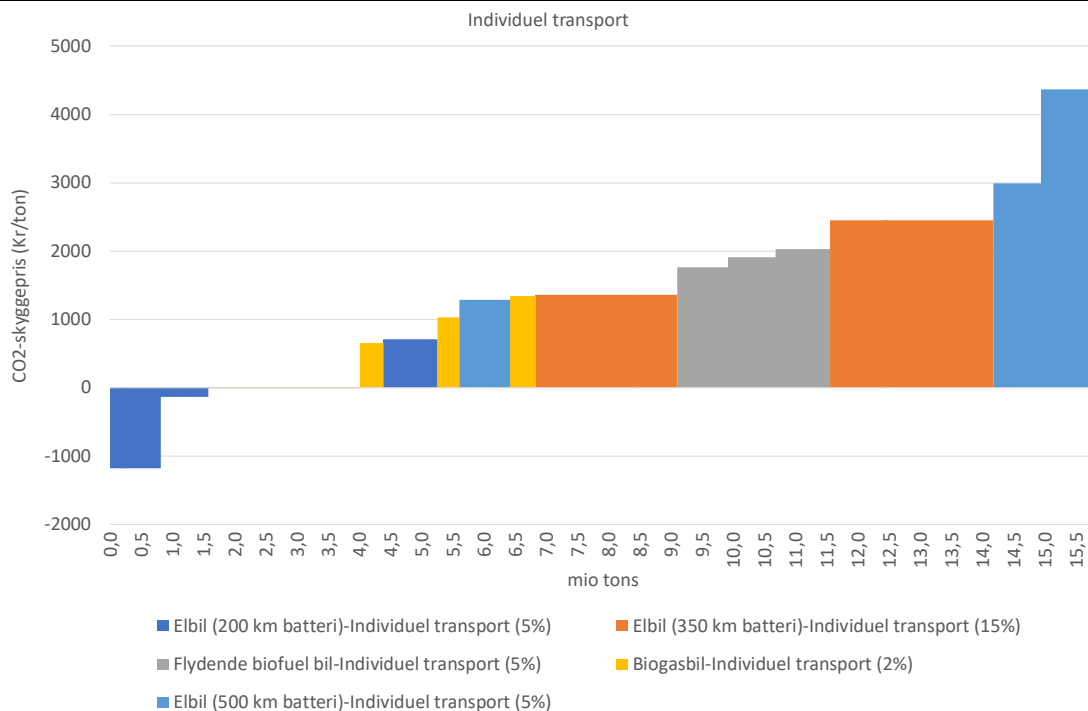
¹¹ Brændselsomkostningen for brintbil er regnet vha. brintpris, som er elpris (DKK/GJ) divideret med virkningsgrad for elektrolyse (0,6-0,66).

2.G-biobrændstofs andel i 2030 (kan også opfyldes med andre typer VE i transport).

Som det ses på **Figur 21**, har brintbiler høje samfundsøkonomiske omkostninger i 2020, men pga. forventet reduktion i brændselscelleomkostning vil omkostningen falde frem mod 2030. Hvis omkostningen til brintteknologier, både til produktion og konvertering af brint, bliver sænket, kan brint spille en rolle inden for både personbiler og tung transport. Brintbiler er udeladt af MAC-kurven, da elbiler med 500 km-batteri har lavere CO₂-skyggepris, og hermed må forventes at tage størstedelen af potentialet for eldrevet transport med lang rækkevidde.

Tablet 8. Fortrængning af nye benzin-/diesel biler. Samlet antages, at max 35 % af transportbehovet for personbiler kan erstattes med grønne teknologier i 2030 fordelt mellem elbiler, biogas og flydende biobrændstoffer.

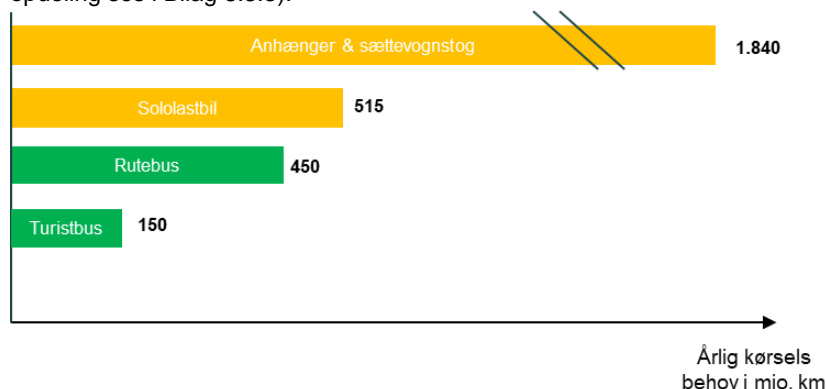
Max CO ₂ -fortrængning benzin/diesel 2021-2030: 49 mio. ton (lineær)	% af max fortrængning i 2030	CO ₂ -kumuleret fortrængning 2021-2030 (mio. ton CO ₂)			CO ₂ -skyggepris (kr/ton CO ₂)		
		Lineær	Gradvis	Sen	Lineær	Gradvis	Sen
Elbil (200 km batteri)	5	2,4	1,6	0,8	711	-132	-1179
Elbil (350 km batteri)	15	7,3	4,7	2,4	2449	1355	-1
Elbil (500 km batteri)	5	2,4	1,6	0,8	4367	2991	1283
Biogasbil	2	1,1	0,7	0,4	1337	1034	657
Flydende biofuel bil	5	2,4	1,6	0,8	2028	1909	1762



4.5 Tung transport - Lastbiler

Lastbiler og busser udgør den største del af den tunge vejtransport, og som det ses på **Figur 22** køres ca. 65 pct. af kilometerne af tunge lastbiler (anhængere og sættevogne) efterfulgt af sololastbiler (uden anhængere) og rutebusser med hver ca. 15 pct. mens turistbusser udgør ca. 5 pct. af kørselsbehovet.

Figur 22. Årligt kørselsbehov for tung transport i Danmark. (mere detaljeret opdeling ses i Bilag 8.3.3).



Der er ca. 15.000 busser og ca. 45.000 lastbiler i Danmark (kilde: Dansk Energi 2015). Fælles for omstilling af både busser og lastbiler er behovet for infrastruktur til enten el, gas eller brint i både byer og til lange distancer ved motorveje.

4.5.1 Forventninger til udvikling

Lastbiler har forholdsvis kort levetid¹², hvilket betyder, at en omstilling fra diesel til alternativt brændstof kan ske tilsvarende hurtigt. Køretøjerne købes ud fra samlet business case for brugen af lastbilen, hvor der både tages hensyn til driftsøkonomien for lastbiler samt muligheden for indtjening på levering af varer.

Nedenfor diskuteres, hvordan fremtidige koncepter for el- og gasdrevne lastbiler kan udvikle sig

Eldrevne lastbiler

Der er mange koncepter for elektrificering af lastbiler, bl.a:

- Køreledninger (pantografer) på udvalgte motorvejsstrækninger er blevet foreslået i bl.a. Tyskland og Sverige (Siemens Mobility¹³, Carbone 2016) og vil medføre en stor investering i infrastruktur og behov for europæisk koordinering af køreledninger, for at lastbiler kan transportere varer over landegrænser. Til gengæld har lastbiler behov for markant mindre batterier, som i øjeblikket begrænser muligheden for ren eldrift.
- Hybrid-koncepter vil tilsvarende sænke behovet for batterier i lastbiler.
- Selvkørende lastbiler har potentialet for at revolutionere måden at bringe varer rundt på både over korte og lange distancer. Hurtigladning af selvkørende lastbiler kan sænke behovet for meget store batterier i lastbilerne ved, at lastbilerne oplades oftere. Udviklingen i pris og energidensitet i batterier samt ladetiden af batterier vil være centrale parametre for designet af selvkørende lastbiler med batterier.

¹² 6 år antaget i analysen

¹³ Dialog og præsentationer fra Glenn Ferslev

I analysen er kun medtaget batteridrevet lastbil (400 kWh batteri og ca. 250 km batterirækkevidde). Det er endnu meget uvist, hvordan fremtidens ellastbiler bliver designet, og hvad de vil koste, men i slutningen af 2017 kommer bl.a. Tesla med første bud på en eldrevne lastbiler.

Gasdrevne lastbiler

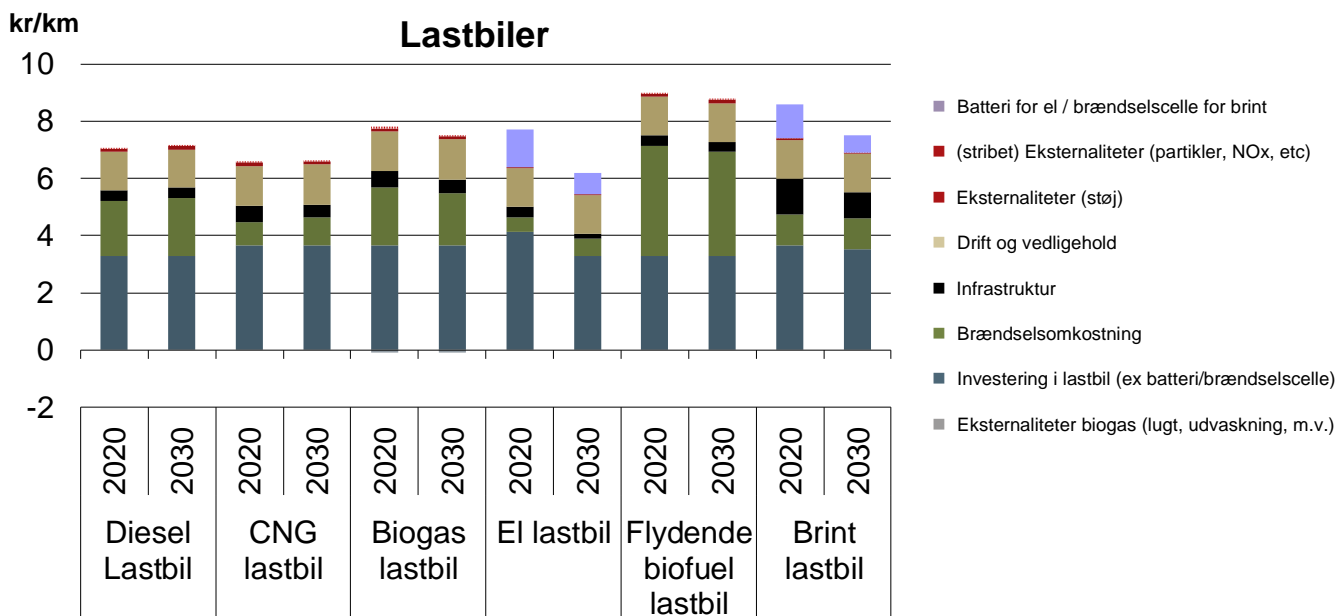
Der er i dag primært CNG (compressed natural gas) drevne lastbiler til mindre lastbehov under 35 ton samt med kortere kørselsrækkevidde som findes i Danmark. I Danmark er det i dag ofte en flåde af køretøjer i fast rute (fx renovation, busser etc), som udskiftes til gasdrift hvorved der er økonomi i at etablere en gasfyldestation, der har tilstrækkelig benyttelse.

For at opnå længere kørselsrækkevidde med gaslastbiler kan det være nødvendigt med LNG (liquified natural gas), hvor energidensiteten er højere end CNG. Desuden kan der anvendes hybridkoncepter som dual-fuel-motor (diesel/gas), som vil kunne øge rækkevidde og lastevne (motorydeevne) af lastbiler, der anvendes gas. I Bilag 8.5 er beskrevet forskellige koncepter til gaskøretøjer nærmere. På trods af udfordringerne med begrænset udvalg af gaslastbiler til de længste og tungeste transportbehov er grøn gas til tung transport en af de mest modne VE-teknologier til tung transport.

4.5.2 Samfundsøkonomiske omkostninger

På **Figur 23** er vist samfundsøkonomiske kilometeromkostninger for de forskellige lastbiler, som er medtaget i analysen

Figur 23 Samfundsøkonomiske priser¹⁴ for lastbiler (kørselsbehov på 55.000 km/år). De viste gasdrevne samt eldrevne lastbiler har kortere kørselsrækkevidde (ca. 250-300 km) end en konventionel lastbil med diesel og flydende bioduel (ca. 1000 km). Biogas-lastbil er magen til CNG-lastbil med undtagelse af omkostningen til brændstoffet.



¹⁴ Brændselsomkostningen for brintbil er regnet vha. brintpris, som er elpris (DKK/GJ) divideret med virkningsgrad for elektrolyse (0,6-0,66).

Generelt set fylder brændselsomkostningen mere af den samlede samfundsøkonomiske kilometeromkostning end for persontransport. Dette hænger sammen med det markant længere årlige kørselsbehov for lastbiler. Hermed får billigere brændsler (som el og naturgas) end diesel en relativ stor betydning på de samlede omkostninger.

Det ses, at CNG-lastbiler forventelig er billigere end diesellastbiler allerede i 2020, hvilket gør, at CO₂-skyggeprisen bliver negativ. Dette skyldes primært billig naturgas. Tilsvarende er ellastbiler (med stor usikkerhed) skønnet til at være væsentlig dyrere i investering og batteri end diesellastbiler, men i takt med prisfald på ellastbiler vil fordelene ved det billigere brændsel kunne give bedre kilometeromkostning end diesellastbiler.

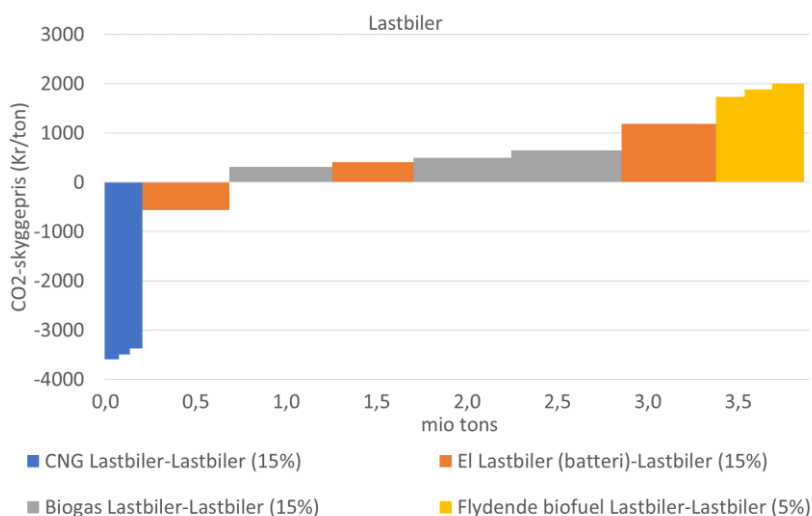
4.5.3 Indfasning og CO₂-skyggepris frem til 2030

På baggrund af de beskrevne tekniske udfordringer samt nye muligheder for både køretøjer og infrastruktur ift. gas og el i tung transport er det meget svært at vurdere et maksimalt potentiale i 2030. Omvendt har den korte levetider for lastbiler samt relativt lave CO₂-skyggepris for både gas og el (jf. **Tabel 9**) potentialet til, at en hurtig omstilling af tung transport kan finde sted.

Det antages derfor, at op til 50 pct. af energibehovet fra lastbiler kan udskiftes i 2030 fordelt på 30 pct.-point gaslastbiler (vist som halvt naturgas og halvt biogas), 15 pct.-point ellastbiler og 5 pct.-point flydende biobrændstoffer.

Tabel 9. Samfundsøkonomiske priser¹⁵ for fortrængning af nye diesel lastbiler.

Max CO ₂ -fortrængning diesellastbil 2021-2030: ca. 10 mio. ton (lineær)	% af max fortrængning i 2030	CO ₂ -kumuleret fortrængning 2021-2030 (mio. ton CO ₂)			CO ₂ -skyggepris (kr/ton CO ₂)		
		Lineær	Gradvis	Sen	Lineær	Gradvis	Sen
Ellastbiler (batteri)	15	1,5	0,9	0,5	1186	404	-568
Biogas-lastbiler	15	1,7	1,1	0,6	641	494	312
CNG-lastbiler	15	0,2	0,1	0,1	-3597	-3495	-3369
Flydende biofuel-lastbil	5	0,5	0,3	0,2	2003	1883	1733



¹⁵ Brændselsomkostningen for brintbil er regnet vha. brintpris som er elpris (DKK/GJ) divideret med virkningsgrad for elektrolyse (0,6-0,66).

Det ses af ovenstående, at naturgas har lavere CO₂-skyggepris end biogas, men den samme mængde naturgas og biogas til fortrængning af diesel fører til meget forskellig mængde fortrængt CO₂ (ca. 8,5 gange så meget med biogas frem for naturgas). Dette skyldes, at CO₂-indholdet for naturgas er 57 kg/GJ ift. diesel på 74 kgCO₂/GJ, mens biogas er negativt, når emissioner fra landbruget medregnes. Gas til transport kan derfor ud fra økonomisk rationale give mening med naturgas, men en grøn omstilling forudsætter, at biogas på længere sigt produceres i de mængder, som bliver anvendt i transporten.

4.6 Tung transport - Busser

Som det er vist på **Figur 22**, udgør busser samlet ca. 20 pct. af det samlede transportarbejde til tung transport. Heraf udgør rutebusser den største andel.

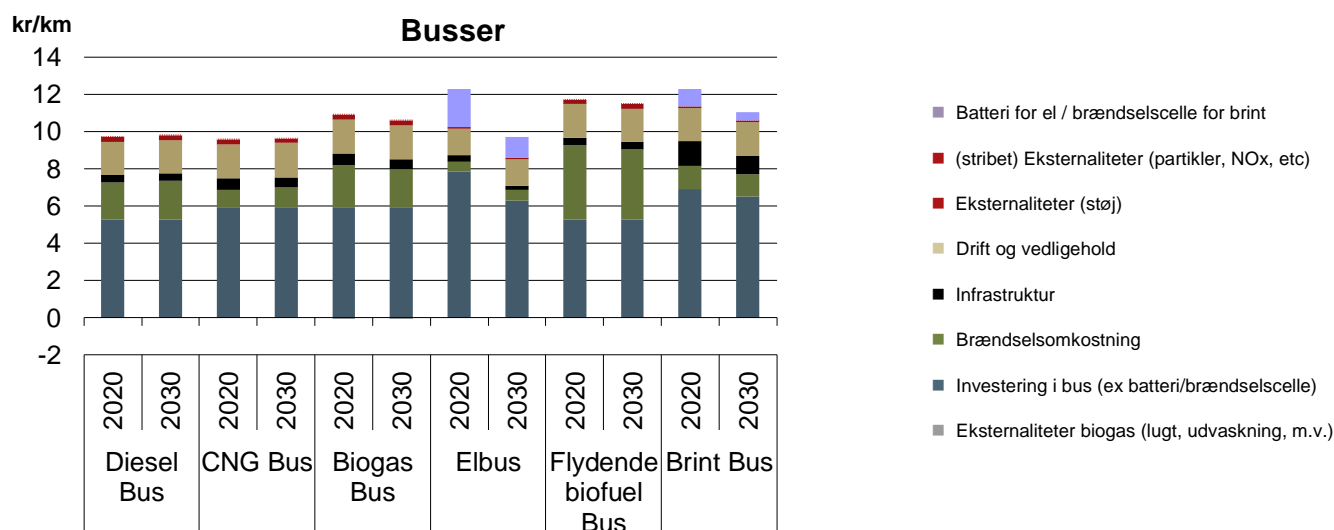
4.6.1 Forventninger til udvikling

Et væsentligt forhold for rutebusser er lokal forurening (støj og emissioner), hvilket har stor betydning for valget af nye bybusser ifm. udbud. I mange danske byer er omstilling fra diesel- til gas- og elbusser i gang, og fx København har et mål om 100 pct. elbusser¹⁶ i 2031. Levetiden for busser er forholdsvis kort, hvilket gør en hurtig omstilling af busser mulig. Samtidig er beslutningen om udskiftning af rute-/bybusser styret af kommuner, hvilket gør det muligt at gennemføre et politisk ønske om grøn/forureningsfri bustransport, uanset om dette måtte være dyrere end konventionelle busser.

4.6.2 Samfundsøkonomiske omkostninger

Busser har højere kilometeromkostninger end lastbiler, hvilket skyldes højere indkøbspris – hermed betyder brændselsomkostningen tilsvarende mindre. På **Figur 24** er vist samfundsøkonomiske priser for bus-teknologier. Der er stor usikkerhed om priser for særligt el- og brintbusser.

Figur 24 Samfundsøkonomiske priser¹⁷ for fortrængning af nye **dieselbusser**.



¹⁶ Eller tilsvarende lav støj og emission (<https://www.b.dk/nationalt/i-2031-koerer-koebenhavn-paa-el-jeg-vil-have-et-koebenhavn-hvor-luften-er-saa-ren>)

¹⁷ Brændselsomkostningen for brintbil er regnet vha. brintpris, som er elpris (DKK/GJ) divideret med virkningsgrad for elektrolyse (0,6-0,66).

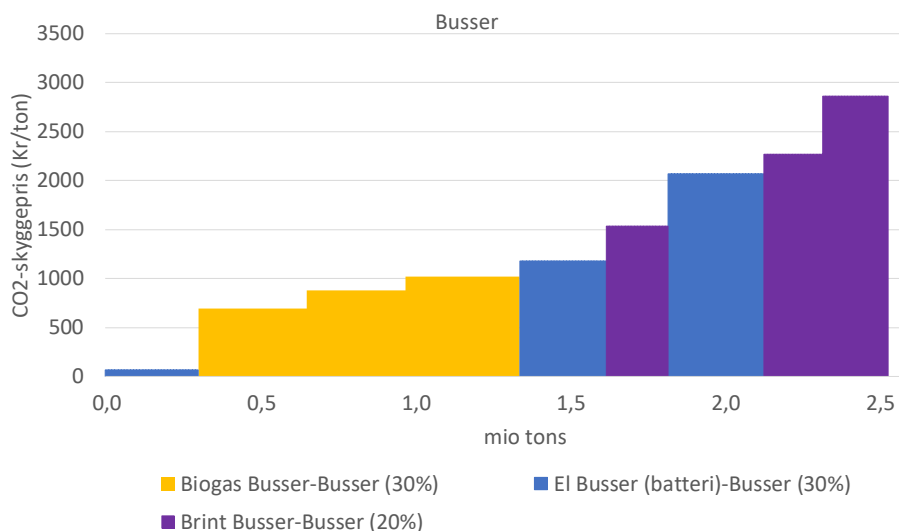
Som det ses i figuren, forventes naturgasbusser at ligge omkostningsmæssigt på niveau med diesel, mens grønne alternativer forventes dyrere i 2020. Frem mod 2030 forventes el- og brintbusser at blive billigere både ift. batteri-/brændselscelle og bussen som helhed.

4.6.3 Indfasning og CO₂-skyggepris frem til 2030

Samlet set antages det, at op til 80 pct. af bustransporten kan udskiftes inden 2030, fordelt på max 30 pct.-point eldrift, max 30 pct.-point biogas og max 20 pct.-point brint.

Tablet 10. Samfundsøkonomiske priser¹⁸ for fortrængning af nye dieselbusser.

Max CO ₂ -fortrængning dieselbus 2021-2030: ca. 3 mio. ton (lineær)	% af max fortrængning i 2030	CO ₂ -kumuleret fortrængning 2021-2030 (mio. ton CO ₂)			CO ₂ -skyggepris (kr/ton CO ₂)		
		Lineær	Gradvis	Sen	Lineær	Gradvis	Sen
Elbusser (batteri)	30	0,9	0,6	0,3	2072	1177	67
Biogasbusser	30	1,0	0,7	0,3	1022	876	696
Brintbusser	20	0,6	0,4	0,2	2861	2268	1532



¹⁸ Brændselsomkostningen for brintbil er regnet vha. brintpris, som er elpris (DKK/GJ) divideret med virkningsgrad for elektrolyse (0,6-0,66).

5 Oversigt på tværs af sektorer

Ved at sammenholde CO₂-skyggepriser på tværs af sektorer, på tværs af teknologier og på tværs af forskellige tidsprofiler kan det undersøges, hvor meget det vil koste at nedbringe CO₂-udledninger til et givent niveau, og dermed hvordan klimamålet uden for kvotesektoren 2021-2030 opfyldes samfundsøkonomisk billigst. Resultatet peger på, at energi og transport kan levere den nødvendige ekstra klimaindsats til en rimelig samfundsøkonomisk omkostning. Dette vil kræve et bidrag fra alle de analyserede sektorer, men særligt persontransport og individuel opvarmning skal levere. I forhold til teknologier viser analysen, at elektrificering af varme og transport, særligt varmepumper og elbiler, vil være blandt de samfundsøkonomisk billigste tiltag. En ambitiøs indsats frem mod 2030 vil give et bedre udgangspunkt for at opfylde reduktionskrav i perioden efter 2030, end hvis der benyttes stor grad af fleksibilitetsmekanismer.

I kapitlet ses på tværs af sektorer og teknologier med udgangspunkt i en såkaldt MAC-kurve baseret på CO₂-reduktionspotentialer og -omkostninger fra kapitel 4. Først præsenteres det samlede billede, for så vidt angår rangordning af tiltag – fra de billigste til de dyreste. Herefter undersøges, hvor mange af tiltagene, som vil være nødvendige for at leve op til klimamålet. Denne pakke af tiltag analyseres med henblik på at uddrage konklusioner om den mest omkostningseffektive pakke af tiltag.

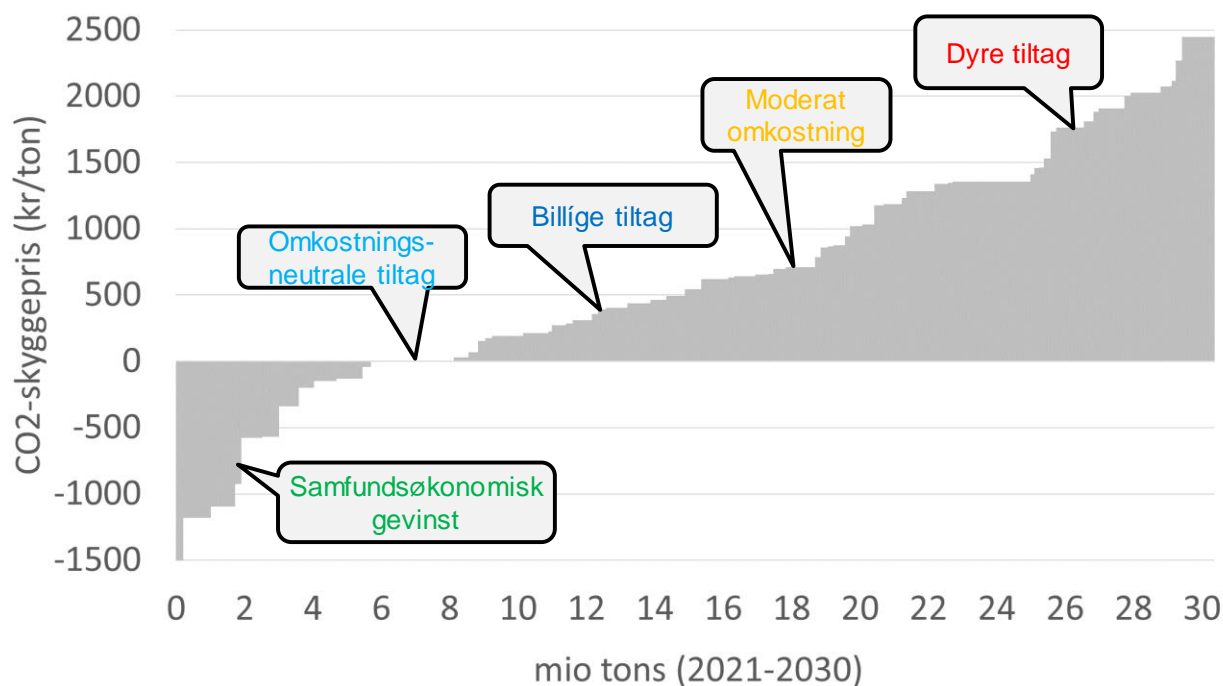
Herunder undersøges, hvordan tiltagene i en pakke, der opfylder klimamankoen, fordeles sig på sektorer og på nye brændsler, dvs. hvor og hvad skal levere CO₂-reduktionerne. Til sidst ses hvordan, CO₂-reduktionerne fordeles over årene i perioden 2021-2030 med pakken af tiltag, og desuden hvordan CO₂-reduktionsstien kan se ud i perioden efter 2030.

5.1 Indsigter fra MAC-kurven for energi og transport 2021-2030

De forskellige sektorer, gennemgået i kapitel 4, er samlet i én MAC-kurve, dvs. tiltagene er sorteret efter stigende CO₂-skyggepriser. Dvs. de billigste tiltag og tilhørende CO₂-reduktion findes længst til venstre på kurven, mens de dyreste tiltag er længst til højre.

Kurven kan hermed aflæses således, at en ønsket CO₂-reduktionsmængde (mio. ton) findes på x-aksen, og alle tiltag til venstre for denne mængde vil være billigste måde at opnå reduktion på tværs af energi og transport. Den marginale CO₂-pris er CO₂-skyggeprisen (kr/ton, aflæses på y-aksen) for det sidste tiltag, der skal med for at opfylde CO₂-reduktionsmængden. De samlede samfundsøkonomiske omkostninger er summen af positive og negative CO₂-omkostninger op til, at CO₂-reduktionsmængden er opfyldt ("arealet under kurven").

Figur 25 MAC-kurve på tværs af CO₂-skyggepriser¹⁹ i sektorerne. MAC-kurven viser omkostningen ved at reducere CO₂ over perioden 2021-2030. Hermed ses, hvordan der på tværs af sektorerne kan findes de billigste CO₂-reduktioner for at opfylde periodens CO₂-manko. På kurven vises tiltag som additional CO₂-reduktionsmængde (mio. ton fra 2021-2030) på x-aksen, mens omkostningen til tiltag vises som additional omkostning (i kr/pr ton) på y-aksen.



På figuren er vist grupper for tiltag afhængigt af CO₂-skyggeprisen. De billigste klimatiltag har negativ CO₂-skyggepris og giver hermed en samfundsøkonomisk gevinst at gennemføre. De omkostningsneutrale tiltag vil tilnærmelsesvis have samme samfundsøkonomi som den fossile reference. De billige til dyre tiltag har alle en meromkostning ift. den fossile reference og hermed en positiv CO₂-skyggepris.

I boksen nedenfor er de forskellige kategorier gennemgået ift. hvilke tiltag, der hører til kategorien.

Opsummering af tiltagene

Overordnet set peger MAC-kurven på, at senere tiltag er billigere end tidligere tiltag (særligt pga. billigere batterier i transportsektoren samt forventning til stigende brændselspriser). Generelt er CO₂-reduktionstiltagene i dag billigere inden for opvarmning end inden for transport, men udviklingen i omkostning til eldrevet transport kan ændre dette i fremtiden.

¹⁹ CO₂-skyggepriser er kun vist fra -1500 kr/ton til +2500 kr/ton samt kun op til 30 mio tons reduktion.

Tabel 11. Tiltag grupperet efter CO₂-skyggepris, jf. kategorier på Figur 25.**Tiltag med samfundsøkonomisk gevinst**

- Skift fra oliefyr til luft-vand-varmepumpe.
- Gradvis indfasning af elbiler med kortere batterirækkevidde.
- De billigste energieffektiviseringer i erhverv.
- Energibesparelser relateret til mere energirigtige vinduer og isolering, særligt for olieopvarmede huse.
- Naturgas til tung transport. Det giver samfundsøkonomiske besparelser, når naturgas, som i øjeblikket er et billigt brændsel, kan fortrænge diesel. CO₂-effekten er dog lille, og markant mindre end hvis biogas fortrænger diesel.
- Sen indfasning af ellastbiler, hvilket kræver, at batteriløsninger kan vinde indpas i dele af tung transport.

Omkostningsneutrale tiltag (tæt på 0 kr/ton)

- Sen indfasning af elbiler med mellemlang batterirækkevidde, der særligt drevet af faldende omkostninger til batteri bliver væsentlig billigere.
- Sen indfasning af eldrevne busser, der ligeledes drives af faldende batteriomkostninger.
- Store eldrevne varmepumper til erstatning af naturgas er over perioden 2021-2030 blandt de billige tiltag, og i takt med mulig prisstigning for naturgas vil CO₂-fortrængningsomkostningen blive lavere.

Billige tiltag (ca. 0-500 kr/ton)

- Gradvis mere biogas anvendt i tung transport.
- Fortrængning af oliefyr med træpiller, forudsat at det ikke er muligt med flere eldrevne varmepumper, end der er antaget blandt de billigste CO₂-reduktionstiltag.
- Visse tiltag til energieffektivisering i erhverv.
- Gradvist skift fra naturgas til eldrevne varmepumper. Over perioden 2021-2030 vil omkostningen til fortrængning af naturgas afhænge af bl.a. prisen på naturgas, og da prisen forventes at stige, vil det blive billigere at skifte senere i perioden.

Tiltag med moderate omkostninger (ca. 500-1000 kr/ton)

- Lineær udskiftning af naturgas med eldrevne varmepumper. Det vil være dyrere at fortrænge naturgas i dag, end når naturgasprisen forventeligt stiger i fremtiden, hvilket gør, at CO₂-skyggeprisen bliver højere.
- Træflis kedler samt biogasyrede store varmepumper ("biogasvarmepumper") til fortrængning af naturgas i decentral opvarmning er begge tiltag, der har moderate til billige omkostninger, og hvor stigende pris på naturgas vil sænke CO₂-skyggeprisen. Begge tiltag har højere CO₂-skyggepris end eldrevne grundvandsvarmepumper.
- Lineær omstilling til biogas i tung transport. På længere sigt er antaget stigende dieselpris samt svagt faldende biogasproduktionspriser, hvilket gør, at biogas i tung transport bliver mere attraktiv senere i perioden. Biogas til persontransport har også faldende CO₂-skyggepris over perioden af samme årsager som for biogas til tung transport.

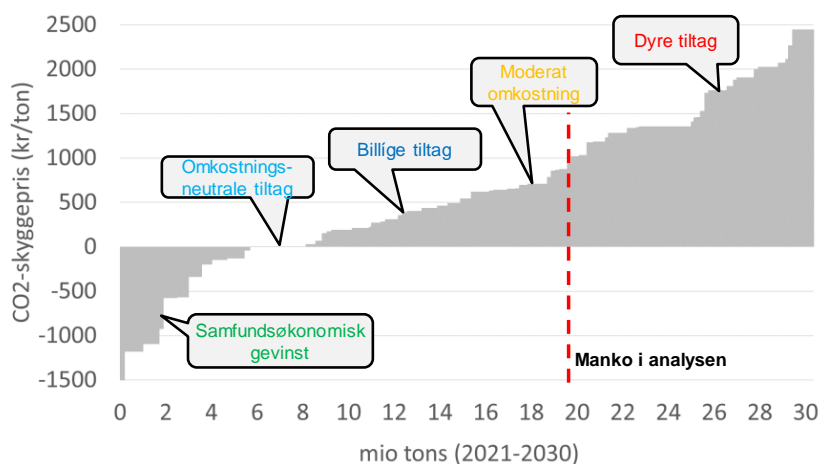
Dyre tiltag (over 1000 kr/ton)

- Tidlig indfasning af elbiler med længere batterirækkevidde har høje CO₂-omkostninger pga. den nuværende høje kapitalomkostning til elbilen. Som følsomhedssceneriet kapitel 7.2 viser, vil et hurtigere elbilprisfald medføre, at tidlig indfasning af elbiler med længere batterirækkevidde bliver blandt billigere tiltag.
- Skift af naturgas til biogas i individuelt opvarmede husstande. Prisen for grøn omstilling af naturgasopvarmede huse er forholdsvis høj ved at udskifte naturgas med biogas.
- Udskiftning af benzin eller diesel med 2.G. Prisen på flydende biobrændstof er høj pga. den høje produktionspris på det grønne brændsel. Hvis produktionsprisen på 2.G-teknologierne falder, vil CO₂-skyggeprisen blive tilsvarende billigere.
- Energibesparelser ifm. vægge, gulve og ventilation har høje CO₂-skyggepriser, særligt i husstande med naturgasopvarmning, da omkostningen til tiltagene er væsentlig dyrere end samfundsværdien af mindre brændsel.

5.2 Energi og transport kan levere den nødvendige ekstra klimaindsats – og til rimelige omkostninger

Som belyst i kapitel 3.1, kræver opfyldelse af målet 2021-2030, at der findes ekstra CO₂-reduktioner i størrelsesordenen 20 mio. ton (svarende til ca. 14 mio. ton ekstra i forhold til Energistyrelsens Basisfremskrivning), såfremt man fra dansk side vælger at medtælle LULUCF-sektoren, men afstår fra at gøre brug af øvrige fleksibilitetsmekanismer. På **Figur 26** er vist mankoen i analysen.

Figur 26 MAC-kurve med manko i analysen. Det er hermed blandt tiltag med moderate omkostninger, at det marginale tiltag skal findes for at opfylde klimamålet med grøn omstilling i transport, erhverv og opvarmning.



En omkostningseffektiv klimaindsats for at leve op til reduktionsforpligtelsen i 2021-2030 ville vælge de billigste tiltag (længst til venstre i kurven) og fylde op med gradvist dyrere tiltag (mod højre), indtil man har identificeret tilstrækkelig mange CO₂-reduktioner til at opfylde målet.

Dette omfatter i alt 15 overordnede tiltag²⁰ – i det følgende omtalt som "klimapakken" inden for energi og transport.

5.2.1 Samlede omkostninger over perioden

Analysen viser, at de samlede samfundsøkonomiske omkostninger²¹ over perioden 2021-2030 ved at gennemføre den omkostningseffektive "klimapakke" er i størrelsesordenen 1,5 mia. kr. (2017-priser) – et tal, som dog skal læses med et meget stort forbehold grundet de betydelige usikkerheder, som fremgår af kapitel 3.5.

Den gennemsnitlige CO₂-skyggepris er på ca. 70 kr./ton CO₂, hvilket dog dækker over en meget stor spredning. Den marginale skyggepris – altså det sidste og dyreste tiltag, man får brug for – er ca. 850 kr./ton. Det ses også, at marginalprisen stiger hurtigt, hvis der skal hentes mere end de knap 20 mio.

²⁰ Energieffektivisering i erhverv, energieffektivisering i hhv. olie og naturgas opvarmede huse, elbiler, elbusser, ellastbiler, eldrevne varmepumper i hhv. olie og naturgas opvarmede huse, træpillefyr til olieopvarmede huse, hhv. el- og biogas varmepumper til dec. fjernvarme, naturgas/biogaslastbil, biogasbus, biogasbil.

²¹ Dette svarer til arealet under MAC-kurven til venstre for CO₂-mankoen

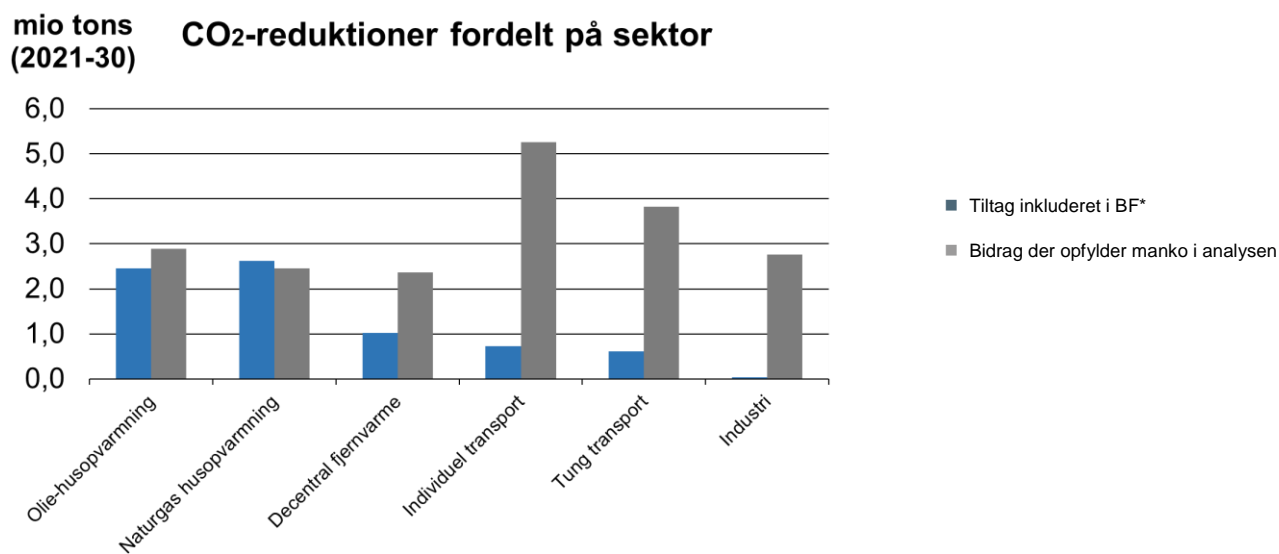
ton. Dette indebærer også, at den samlede regning bliver markant større, hvis man ikke benytter mulighed for at medregne LULUCF-sektoren.

5.2.2 Ekstra klimaindsats kræver bidrag fra alle sektorer

De tiltag fra MAC-kurven, der tilsammen opfylder CO₂-mankoen i analysen, er vist på **Figur 27** og grupperet efter sektorer (de grå søjler.) Desuden ses den udvikling, som forventes i Basisfremskrivningen²², inden for de samme sektorer (de blå søjler).

Figur 27. CO₂-reduktioner i sektorer i hhv. BF og analysen.

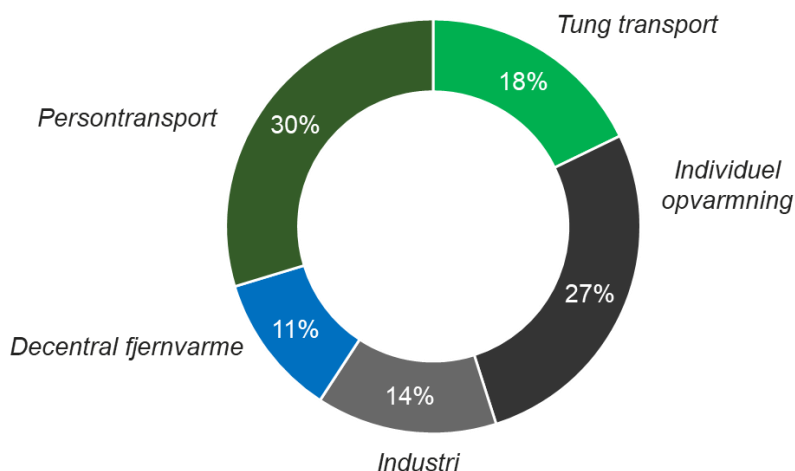
**Summen af blå reduktioner i sektorerne svarer til tiltag, der er inkluderet i Basisfremskrivningen (BF).*



Der fremgår af **Figur 27**, at der er behov for en indsats i alle sektorer for at nå billigste opfyldelse af CO₂-mankoen. Særligt i persontransport, tung transport og industrien viser MAC-kurven en betydelig højere CO₂-reduktion, end der forudses i Basisfremskrivningen. Inden for individuel opvarmning medregnes en betydelig reduktion i olie og naturgas i Basisfremskrivning, og her er udviklingen i MAC-kurven i samme størrelsesorden. I decentral fjernvarme ses en større CO₂-fortrængning over perioden i MAC-kurven, primært drevet af forventningen om hurtigere og større indfasning af store varmepumper.

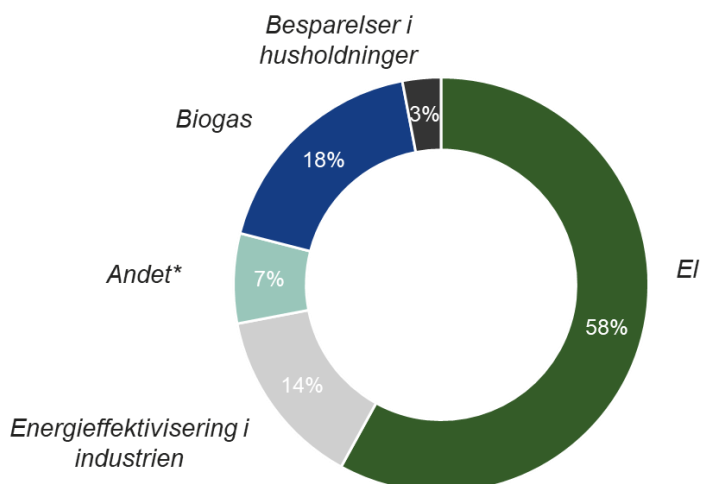
På **Figur 28** er vist fordelingen, som de forskellige sektorer leverer til opfyldelse af klimamankoen. Det er særligt persontransport og individuel opvarmning, der skal levere et stort bidrag.

²² Forskellene mellem størrelsen på tiltagene i MAC-kurven og Basisfremskrivningen skyldes:
 - Basisfremskrivning laves ud fra privatøkonomi, dvs. de beslutninger som forventes foretaget ud fra gældende regler og forventet teknologiuudvikling (frozen policy). Hermed er ikke sikret nonETS-målopfylde, hvilket netop medfører, at der er en CO₂-manko, som nye politiske tiltag skal lukke.
 - MAC-kurven viser udvikling ud fra samfundsøkonomisk billigst (uden virkemiddelomkostninger) målopfylde af nonETS-klimamålet, dvs. det er ikke tiltag, som nødvendigvis er privatøkonomisk fordelagtige med nuværende afgifter og tilskud.
 -Forskelle i antagelser i de to analyser, fx batteripriser for elbiler og mulige indfasningsprofiler.

Figur 28. Fordeling af CO₂-fortrængninger på sektorer.

5.3 Elektrificering leverer stor del af CO₂-fortrængningen

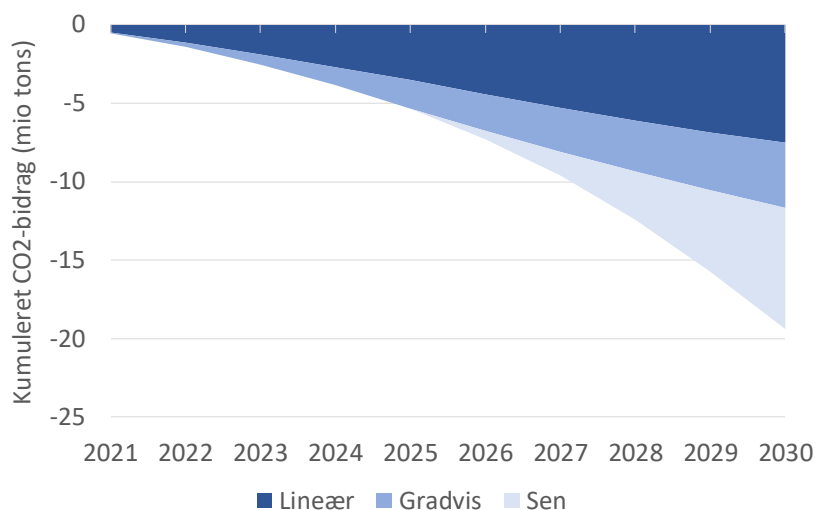
Elektrificering af varme og transport (særligt varmepumper og elbiler) udgør den største del af CO₂-reduktion ved at fortrænge fossile brændsler. På **Figur 29** er vist, at ca. 60 pct. af CO₂-reduktionerne kommer fra elektrificering. Desuden kan eldrevne varmepumper også levere en del af energieffektiviseringen i industrien, hvilket kan bringe elforbrugets andel til CO₂-reduktion endnu højere (samt elektrificering kan bidrage til CO₂-reduktion fra varebiler og skibe). Biogas til tung transport bidrager desuden også betydeligt til CO₂-reduktionen, hvorimod besparelser i husholdninger kun leverer et beskedent bidrag.

Figur 29. Fordeling af CO₂-fortrængninger på nyt brændsel og besparelser. *) Andet dækker over træpiller, træflis og naturgas

5.4 CO₂-fortrængningen skal ske over hele perioden

På **Figur 30** er vist, hvordan CO₂-reduktionen fra tiltagene på MAC-kurven fordeles over perioden. Der er både behov for tiltag, der iværksættes lineært – altså hurtigt, tiltag, der iværksættes gradvist og tiltag, der iværksættes sent for at opnå den nødvendige CO₂-fortrængning over perioden på den mest omkostningseffektive måde. Analysen peger fx på, at omstilling til flere varmepumper i opvarmning eller energieffektivisering i industrien bør øges hurtigst mulig, hvorimod en kraftig vækst inden for grøn persontransport på kort sigt vil være samfundsøkonomisk dyrt, og derfor ske mere gradvist.

Figur 30 CO₂-reduktioner over perioden fordelt på tiltag der iværksættes lineært, gradvist og sent.



5.5 Udledninger i 2030 og frem mod 2050

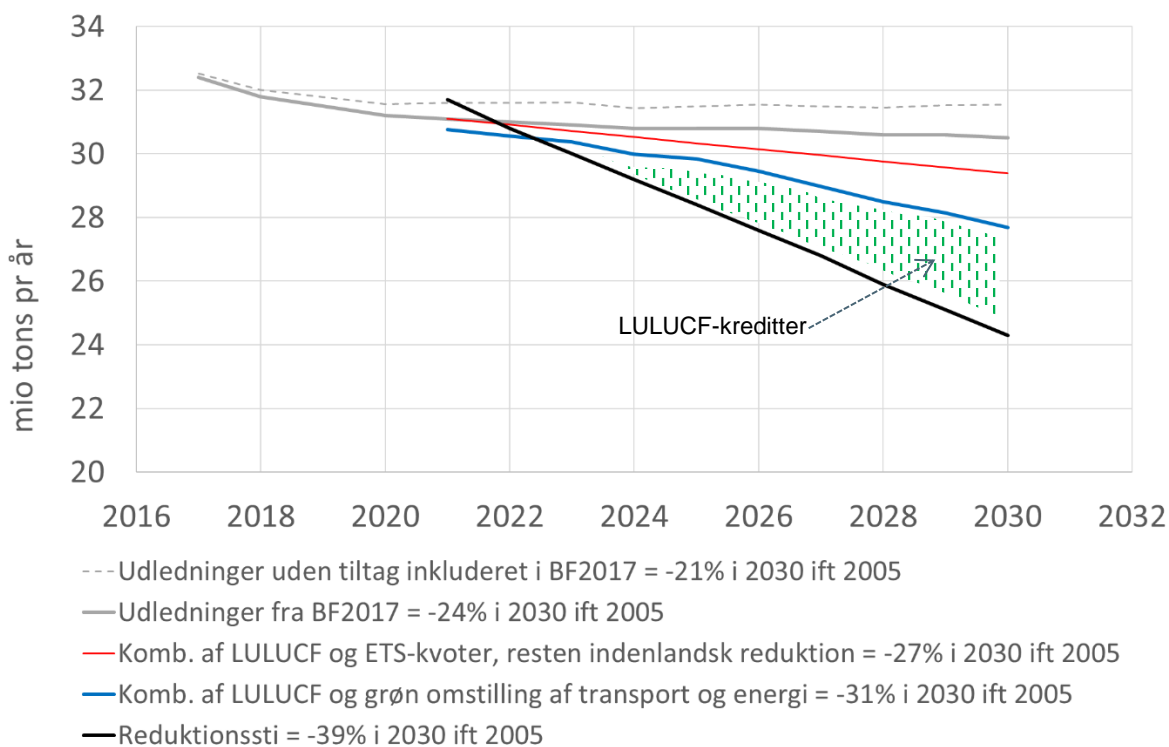
Klimaindsatsen slutter næppe i 2030. Derfor er det ikke alene relevant at se på, hvordan man omkostningseffektivt opfylder målet i 2021-2030, men også hvor langt man så er nået i 2030. Og dermed hvilket udgangspunkt man har for at leve op til de klimamål, som må forventes at gælde fra 2030 og frem. Det forhold, at der også må forventes at være EU-klimamål efter 2030, giver således ekstra værdi til at gennemføre faktiske indenlandske klimatiltag i 2021-2030 relativt til at leve op til målet gennem køb af reduktioner i udlandet. Hvis Danmark primært opfylder sine forpligtelser med andre midler end hjemlige CO₂-reduktioner, fås et dårligt udgangspunkt for at leve op til fremtidige klimamål.

Det ses på **Figur 31**, at de faktiske indenlandske ikke-kvotefattede drivhusgasudledninger anslås at være reduceret med ca. 31 pct. i 2030 ift. 2005, såfremt man vælger at gennemføre den omkostningseffektive "klimapakke" i kombination med fuld medregning af LULUCF-kreditter. Dette medfører, at den samlede ikke-kvotefattede udledning er på vej ned, og at udgangspunktet for forpligtelser efter 2030 er acceptabelt.

Hvis der gennemføres færre indenlandske klimatiltag og i stedet udnyttes fuld adgang til annullering af ETS-kvoter som klimatiltag oveni medregning af LULUCF bidraget, vil de faktiske samlede udledninger i 2030 selvsagt ligge

højere – svarende til at Danmark kun vil have reduceret de faktiske ikke-kvotefattede udledninger med ca. 27 % reduktion i 2030 ift. 2005.

Figur 31 Forløb for udledninger i Basisfremskrivningen (grå) samt med tiltag, der opfylder mankoen i kombination med LULUCF²³ og ETS-kvoter²⁴. CO₂-reduktionsforløbet fra MAC-kurven (blå) vil sammen med LULUCF-kreditter opfylde mankoen ift. reduktionsloftet (sort). Brug af ETS-kvoter svarer til arealet mellem blå og rød.



EU's langsigtede mål er, at de samlede drivhusgasudledninger skal reduceres med 80-95 procent i 2050 ift. 1990. Det er for tidligt at sige præcis, hvordan dette pejlemærke vil blive omsat til konkrete klimamål, herunder hvor meget der skal klares i kvotesektoren, og hvor meget der skal klares uden for og med nationale mål.

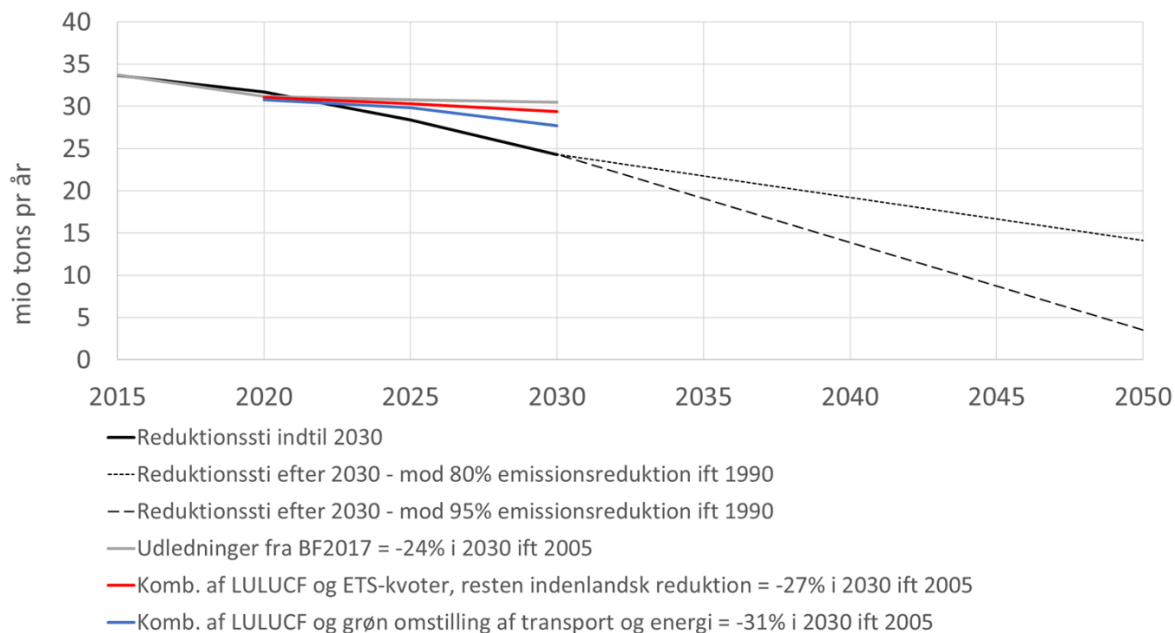
Når man tager højde for, at der også skal være plads til udledninger knyttet til fødevarerproduktion i 2050, er det dog ikke urimeligt at antage, at der skal skæres meget dybt i CO₂-udledningerne fra energi og transport frem mod 2050 for at realisere -80-95 procent samlet. Som det fremgår af **Figur 32**, flugter den danske reduktionssti (udledningsloft) 2021-2030 faktisk med en lineær vej frem mod en reduktion på 95 procent af de samlede danske drivhusgasudledninger (kvote- og ikke-kvotefattede sektorer)²⁵ i 2050.

²³ Arealet mellem reduktionstien (sort) og MAC-kurve-tiltag (blå) svarer til LULUCF-fleksibiliteten på 14,6 mio. ton.

²⁴ Der er antaget lineær profil for resterende tiltag i kombination med brug af både LULUCF (14,6 mio. ton) og ETS-kvoter (ca. 8 mio. ton).

²⁵ Det er antaget, at ETS-emissioner er 0 i 2050.

Figur 32 Forløb for reduktioner i nonETS frem til 2030 samt muligt reduktionssti mod 2050 for at opnå 80-95% emissionsreduktion ift. 1990.



Der vil derfor næppe være tale om, at kravet til at nedbringe drivhusgasserne fra de ikke-kvotefattede sektor nedsættes markant på den anden side af 2030 – tværtimod. Og det er ikke sikkert, at Danmark på sigt kan indregne et stort bidrag fra LULUCF-sektoren. Noget andet er, at EU kan vælge allerede på denne side af 2030 at øge klima-ambitionsniveauet.

Derfor er det ikke lige meget, hvor langt Danmark er nået i 2030. At agere ambitiøst i perioden 2021-2030 giver et bedre udgangspunkt for at opfylde forpligtelserne på den anden side af 2030. Det taler for, at man fører en klimapolitik, som ikke kun tager de letteste løsninger i form af kvoteannullering og køb af reduktioner i andre lande, men stiler efter at nedbringe indenlandske ikke-kvotefattede drivhusgasudledninger mærkbart.

6 Konklusioner, barrierer og anbefalinger

Fælles for opvarmning, transport og erhverv er, at elektrificering står som en central del af en omkostningseffektiv klimapolitik. På flere områder kræver det dog en lavere elafgift for at sikre, at de samfundsøkonomisk billigste potentialer bliver indfriet. Biogas skaber størst værdi ved at fortrænge diesel i tung transport, hvilket kræver at rammer og mål for grøn omstilling af tung transport er til stede. Indenfor persontransport vil faldende batteripriser gøre elbiler attraktive som middel til CO₂-fortrængning, men i dag er prisforholdet i anskaffelsespris mellem elbiler og benzinbiler en væsentlig barrierer for elbiler.

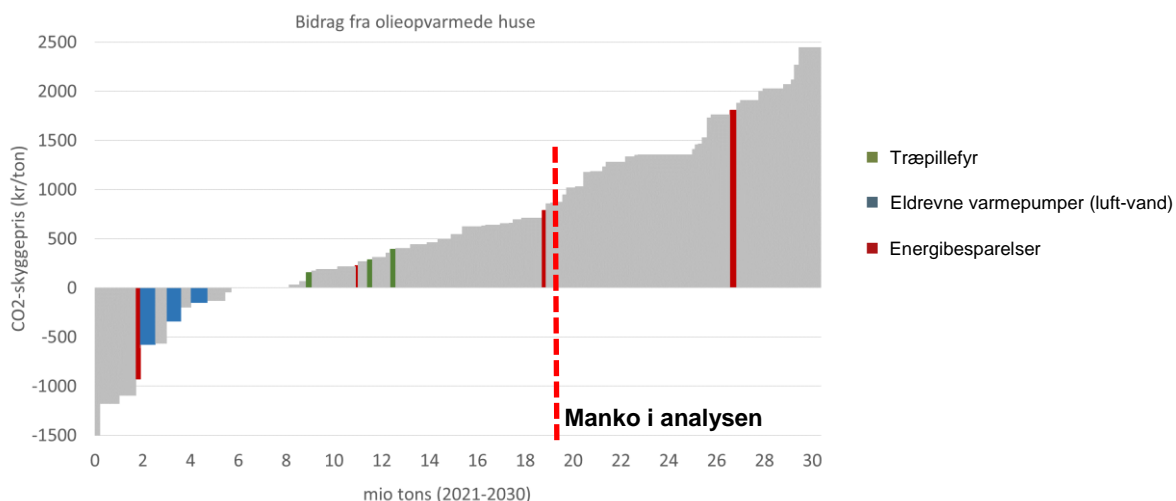
I afsnittet gennemgås konklusionerne fra MAC-kurven (samfundsøkonomisk analyse) inden for hver af de fem sektorer. Endvidere gennemgås mulige barrierer for, at de samfundsøkonomisk billigste tiltag bliver realiseret. Herefter gives en anbefaling til, hvordan barrieren kan overkommes. Oversigt over afsnittets konklusioner, barrierer og anbefalinger ses nedenfor.

	KONKLUSIONER FRA SAMFUNDSØKONOMISK ANALYSE	BARRIERE	ANBEFALING
HOVEDKONKLUSION	Energi og transport kan levere den nødvendige ekstra klimaindsats – og til rimelige omkostninger	Elafgiften er for høj Rammerne for grøn transport er ikke tilstrækkelige	Elektrificering er centralt i en omkostningseffektiv klimapolitik
	1 Oliefyrr skal hurtigst muligt erstattes med eldrevne varmepumper	Høj elafgift hindrer samfundsøkonomisk billigste grønne opvarmning	Stærkere incitamenter til skrotning af oliefyrr
DELKONKLUSIONER	2 Mindre naturgas i opvarmning opnås billigst med varmepumper	Afgifter modvirker konvertering til varmepumper	Sænk elafgift og lav strategi for udfasning af naturgas
	3 Biogas er blandt billigste løsninger i tung transport	For svagt incitament til grøn omstilling af lastbiler	Styrk infrastruktur og genovervej incitamenter til grøn omstilling i tung transport
	4 Faldende batteripriser gør elbiler samfundsøkonomisk attraktive	Anskaffelsespris for elbiler er for høj i forhold til benzinbiler i Danmark	Indsats for elbiler med langt årligt kørselsbehov giver lavere CO ₂ -skyggepris
	5 Energieffektivisering i erhverv er billigere end i husholdninger	Potentialer i erhverv indfrier ikke sig selv med nuværende lave fossile afgifter	Virkemidler skal målrettes mod at fortrænge fossile brændsler i erhverv

6.1 Oliefyr skal hurtigst muligt erstattes med eldrevne varmepumper

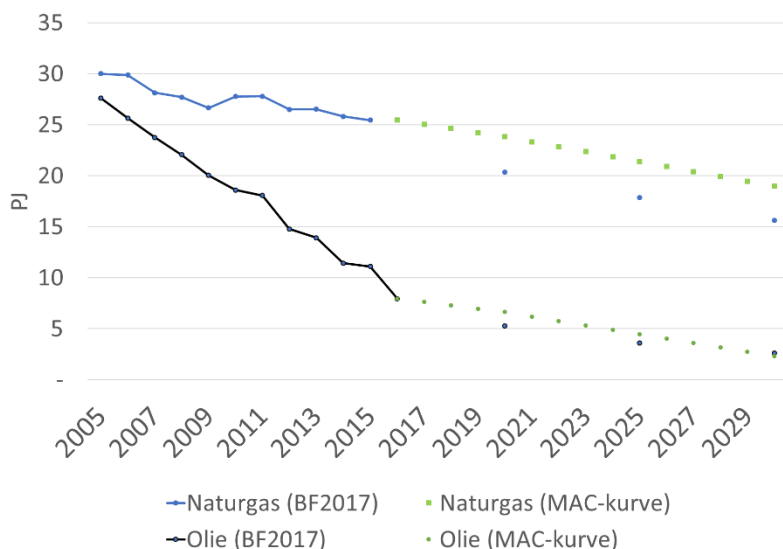
På figuren er vist bidraget i MAC-kurven fra alternative teknologier i olieopvarmede husstande. De billigste reduktioner findes med eldrevne varmepumper samt energibesparelser relateret til vinduer og tage. Her er der tale om samfundsøkonomiske gevinster. Desuden bidrager træpillefyr med en begrænset del af CO₂-fortrængningen, dog med højere CO₂-skyggepris.

Figur 33. MAC-kurve med fremhævede bidrag fra alternative teknologier i olieopvarmede huse.



På **Figur 34** ses resultatet fra MAC-kurven omsat til fortrængning af olie (og naturgas) fra husholdningers opvarmning frem mod 2030. Som tidligere vist i **Figur 27**, fortrænges der omtrent samme mængde olie og naturgas over perioden 2021-2030, som forudsat i Basisfremskrivningen. Indsatsen handler mao. om at sikre, at denne udvikling realiseres – på den rigtige måde.

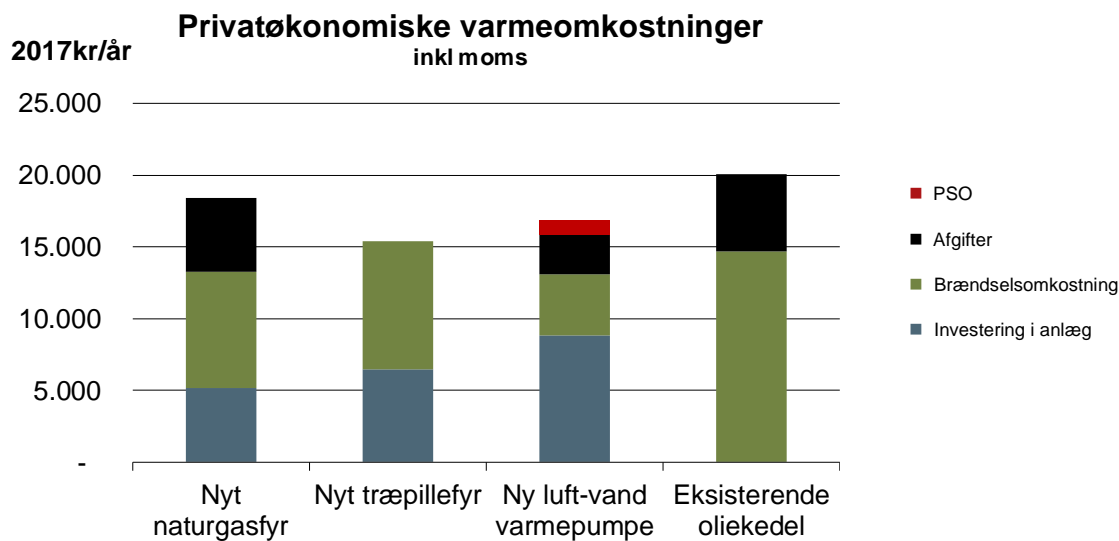
Figur 34. Historisk udvikling af fossilt brændselsforbrug i individuelt opvarmede husstande samt fremskrivning fra MAC-kurve og Basisfremskrivning mod 2030.



6.1.1 Barriere: Høj elafgift hindrer samfundsøkonomisk billigste grønne opvarmning

Figur 34 viser, at det historisk er gået hurtigt med udfasning af olie fra husstande, dog er det ofte træpillefyr, som vælges frem for varmepumper. Dette hænger bl.a. sammen med elafgiften, som gør det brugerøkonomisk dyrere at vælge eldrevet varmepumpe sammenlignet med træpiller. På Figur 35 er vist privatøkonomiske varmeomkostninger for eksisterende oliekedel samt ny gaskedel, træpillefyr samt luft-vand varmepumpe.

Figur 35. Privatøkonomiske varmeomkostninger med årligt varmebehov på 18 MWh. (kilde: Dansk Energi)



Eldrevne varmepumper (undtagen luft-luft) har en højere investeringsomkostning end træpillefyr og gaskedler, hvilket kan være en barriere for kunders mulighed og lyst til at investere i dem på trods af muligheden for at opnå tilbagebetaling via lavere varmeregning. I den forbindelse kan adgang til finansiering også være en udfordring, særligt i de tilfælde, hvor der tale om boliger med lav ejendomsværdi.

Mange olieopvarmede huse har supplerende opvarmning fra fx brændeovne, hvorfor det reelt set kan være et mindre årligt varmebehov, som skal leveres med varmepumper. Desuden kan ældre huse generelt have behov for forbedring eller udskiftning af radiatorer for at kunne forsyne huset ved en lavere fremløbstemperatur fra en varmepumpe. Et alternativ er at energirenovere huset sammen med installation af en varmepumpe, hvilket vil nedsætte varmebehovet, men samtidig øge investeringsbehovet. Dette kan føre til, at luft-luft-varmepumper vinder frem, da de er billige og ikke skal integreres i husets eksisterende varmesystem.

6.1.2 Anbefaling: Stærkere incitamerter til skrotning af oliefyr

Det er samfundsøkonomisk rentabelt med udfasning af oliefyr, og jo hurtigere det er muligt, jo større CO₂-reduktion vil der være over perioden 2021-2030. En skrotningspræmie for oliefyr kan derfor fremskynde udfasningen og i samspil med lavere elafgift være med til at sikre, at oliefyr hurtigst muligt bliver erstattet af eldrevne varmepumper.

Der er forskellige forretningsmodeller, som afprøves med leasing af varmepumper eller salg af varme. En øget brug af disse kan muligvis bidrage til at overkomme den barriere som vedrører den store up front investering og de finansieringsvanskeligheder, som knytter sig hertil. Desuden vil øget konkurrence og højere salgstal af varmepumper forventeligt kunne sænke den samlede omkostning for køb og installation af varmepumper.

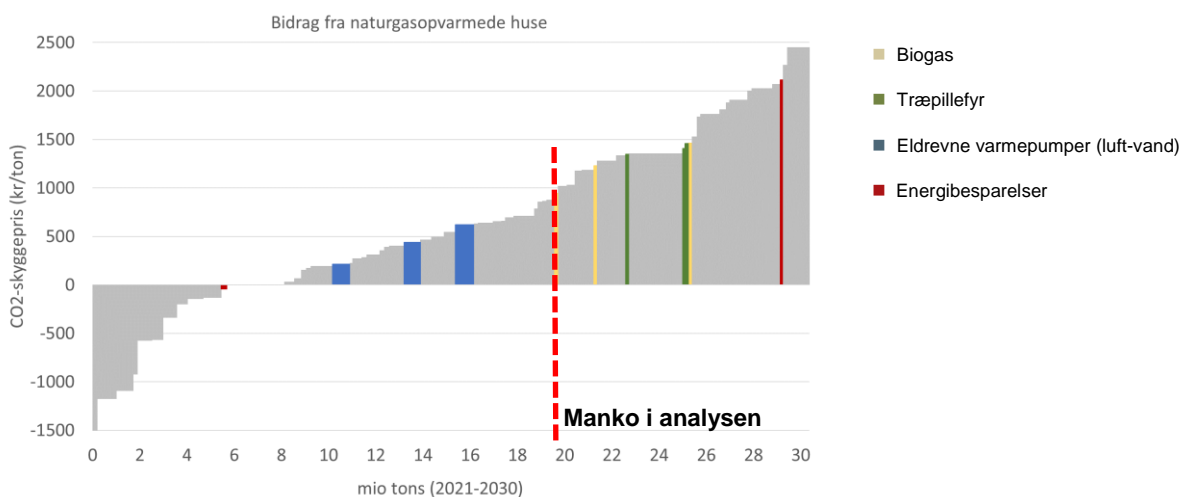
6.2 Mindre naturgas i opvarmning opnås billigst med varmepumper

Varmepumper er billigste måde at nedbringe naturgasforbrug i individuel varme

På **Figur 36** er vist bidraget i MAC-kurven fra alternative teknologier i naturgasopvarmede husstande. Generelt er CO₂-skyggeprisen ved grøn omstilling højere i naturgasopvarmede huse end i olieopvarmede huse fordi brændselsbesparelsen ved naturgas frem for fyringsolie er mindre og CO₂ reduktionseffekten mindre. De billigste reduktioner findes med eldrevne varmepumper samt energibesparelser relateret til vinduer.

På figuren ses også, at CO₂-skyggeprisen for biogas som erstatning for naturgas samt træpiller er højere. Dette betyder, at varmepumper ser ud til at være en samfundsøkonomisk billigere vej til grøn omstilling af naturgasopvarmede boliger end øget iblanding af biogas i naturgasnettet. Eftersom øget iblanding af biogas og skift fra naturgas til træpillefyr har højere CO₂-skyggepris end den marginale CO₂-skyggepris (til opfyldelse af mankoen), er de ikke med i den omkostningseffektive "klimapakke".

Figur 36. MAC-kurve med fremhævede bidrag fra alternative teknologier i naturgasopvarmede huse.

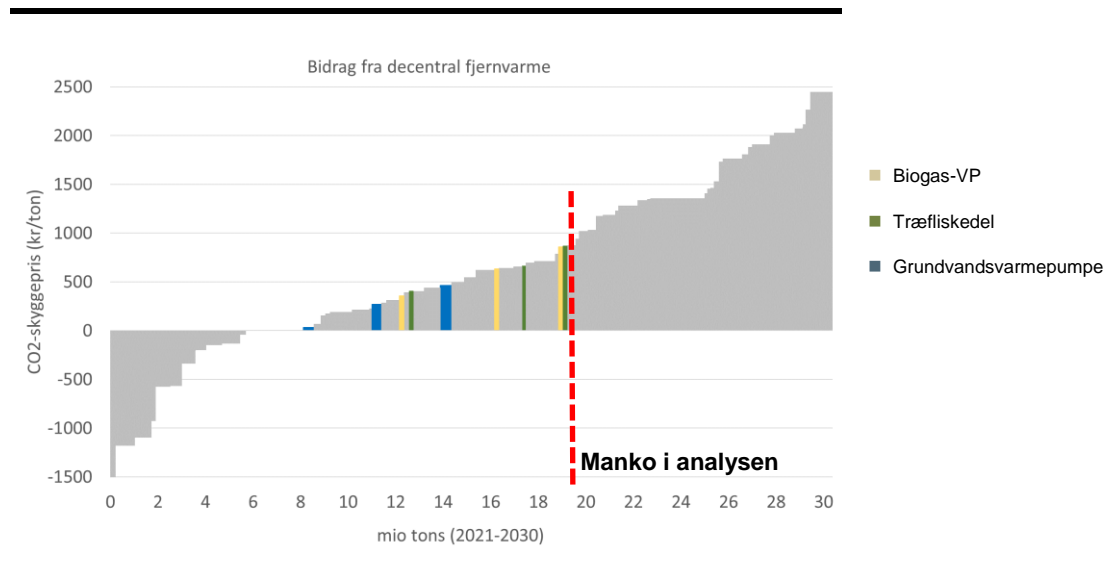


Varmepumper er billigst inden for decentral fjernvarme

På **Figur 37** er vist bidraget i MAC-kurven fra teknologiskift i de mindste decentrale fjernvarmeværker (under 20 MW indfyret effekt). Her er eldrevne grundvandvarmepumper billigst, efterfulgt af biogasvarmepumpe og træflis-kedel. Alle tiltagene er blandt de billige eller moderate klimatiltag, hvilket betyder, at udfasning af naturgas i de mindste fjernvarmeværker er et område,

der bør indgå i indsatsen for at leve op til målet for de ikke-kvoteomfattede sektorer.

Figur 37. MAC-kurve med fremhævede bidrag fra alternative teknologier i decentral fjernvarme.



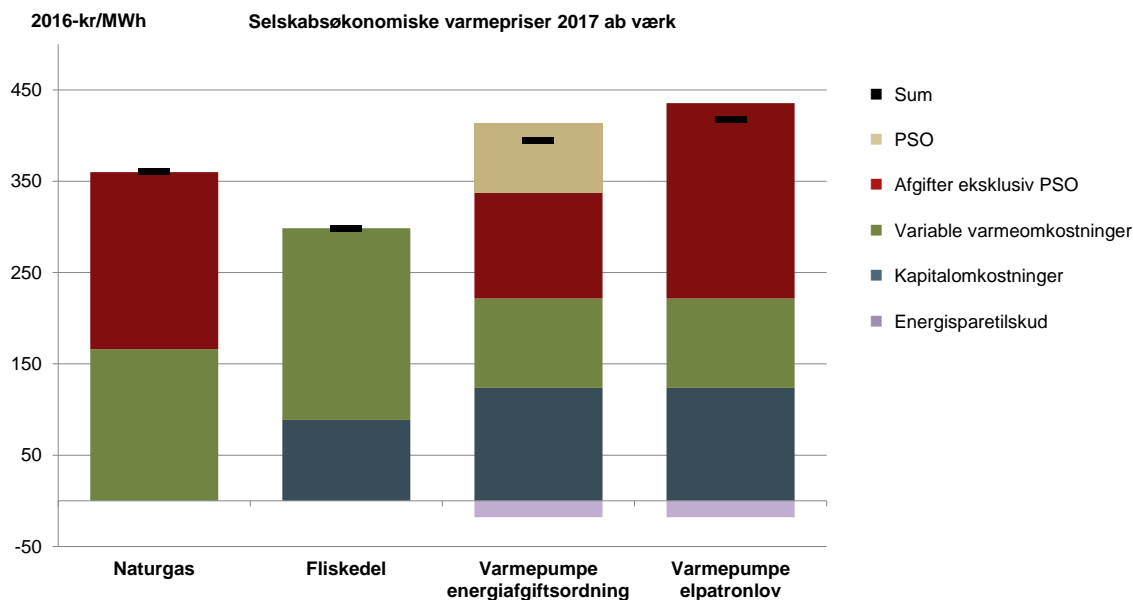
6.2.1 Barriere: Afgifter modvirker konvertering til varmepumper

Som det er tilfældet for individuel opvarmning (jf. **Figur 35**), fører elafgiften også til forvridding mellem selskabsøkonomi og samfundsøkonomien for decentral fjernvarme. På **Figur 38** er vist selskabsøkonomien med afgifter for hhv. naturgas, fliskedel og ældre varmevarmepumper. Uden afgifter er varmepumper billigst, men med elafgift og PSO²⁶ er varmepumperne i dag dyrere, og derfor vælges afgiftsfritaget biomasse ofte.

For områder med individuel forsyning med naturgas gælder at det privatøkonomiske incitament til at skifte til individuel varmepumpe eller kollektiv forsyning er begrænset med den nuværende afgiftsstruktur og relativt lave naturgaspriser (jf **Figur 35**). Desuden kan der være omkostning til frakobling af naturgasnettet som er en yderligere barriere for skift til varmepumpe.

²⁶ Udfases frem mode 2022

Figur 38. Investerings- og driftsomkostninger samt afgifter for forskellige decentrale fjernvarmearmteknologier i 2017. Varmepumper er vist med hhv. energiafgiftsordning (input-afgifter) og elpatronlov (output-afgifter).



6.2.2 Anbefaling: Sænk elafgift og lav strategi for udfasning af naturgas

For at sikre lige konkurrence mellem forskellige decentrale fjernvarmeløsninger (samt individuelle løsninger) bør elafgiften derfor nedsættes kraftigt eller fjernes.

En grøn klimapulje²⁷ på ca. 50 mio. kr. i 2018-2019 er målrettet mod store varmepumper som erstatning af naturgas til decentral opvarmning. Regeringen forventer, at dette vil sænke CO₂-reduktionen med ca. 0,5 mio. ton fra 2021-2030. Dette vil hermed indfri en del af det potentiale på ca. 1,3 mio. ton (jf. **Tabel 6**) som er forudsat, at tidlig indfasning af store varmepumper kan bidrage med til klimamålet over perioden. Der er behov for sænke elafgiften for at nå hele vejen.

Strategi for udfasning af naturgas

Analysen peger endvidere på, at øget anvendelse af biogas ikke er den mest omkostningseffektive grønne teknologi til at opnå en højere grad af fortrængning af naturgas til opvarmning²⁸. Dette står i kontrast til, at biogasstøtten primært gives som produktionsstøtte og dermed ikke sikrer, at øgede biogasmængder anvendes, hvor der fås størst klimaeffekt.²⁹

Ift. bidrag til ikke-kvotefattede områder er det ydermere et problem, at biogas kun medtages i ikke-kvotesektor drivhusgasregnskabet med den samme andel, som gasforbruget samlet fordeler sig mellem kvote- og ikke-kvotefattede områder³⁰.

²⁷<http://efkm.dk/aktuelt/nyheder/nyheder-2017/juni-2017/regeringen-vil-goere-fjernvarmen-groennere/>

²⁸ Med forbehold for visse industrianvendelser.

²⁹ Der afregnes til naturgaspris plus mulighed for at købe et grøn gas-certifikat.

³⁰ Kilde: Jane Rusbjerg, Energistyrelsen og Ole-Kenneth Nielsen, Aarhus Universitet

Sagt på en anden måde – da det kun ca. er halvdelen af det samlede gasforbrug, der anvendes uden for kvotesektoren, er det også kun halvdelen af den producerede biogas, der medregnes som fortrængning af naturgas i ikke-kvotesektoren³¹.

Når en markant omlægning fra naturgas til biogas i individuel opvarmning synes at være en dyr måde at fortrænge fossile brændsler, rejser det også spørgsmål om fremtiden for gasinfrastrukturen. Dette har betydning for de (primært erhvervs)kunder, som også på lang sigt fortsat vil have brug for gas, men som må formodes at være færre til at bære omkostninger til infrastrukturen. Dette peger på behovet for en strategi for udfasning af naturgassen i Danmark, så man får taget de rigtige skridt i det rigtige tempo.

Fremtiden for naturgasområder: Fjernvarme eller individuelle løsninger?

Der er i analysen ikke undersøgt økonomien i grøn omstilling af konkrete naturgasområder. Det vurderes, at det er vanskeligt at drage generelle konklusioner om, at fjernvarme er bedre end individuelle løsninger eller omvendt, da det afhænger af lokale forhold.

I praksis laves der for fjernvarmekonverteringer en samfundsøkonomisk beregning, der skal vise, om fjernvarme giver lavere varmeomkostninger end naturgas. Dette afhænger af både fjernvarmeprisen (dvs. brændselspris samt omkostning til etablering af ekstra fjernvarmenet) samt kundernes eksisterende naturgasvarmepris.

Generelt er der en række forhold, som tæller både for og imod fjernvarme ift. individuelle løsninger. Installeret varmekapacitet i fjernvarme er billigere pga. storskala end omkostningen til installeret varmekapacitet i individuelle løsninger, hvorimod varmetabet i fjernvarmerør er større end ved individuelle løsninger (lavt tab i gas- eller elnet).

Vigtigst af alt er tætheden af varmekunderne for konkurrencedygtigheden af fjernvarme ift. individuelle løsninger. I tætbefolkede områder eller områder med stort varmeaftag til fx erhverv eller industri er ledningstab og -investering mindre pr. kunde, hvilket er en fordel for fjernvarme. Det modsatte er gældende for områder med lav varmetæthed.

Desuden skal evt. ekstraomkostninger til elnet også tages med i betragtning ift. stor indfasning af eldrevne varmepumper – her er der igen forskelle mellem forsyningsområder, hvilket gør det svært at lave generelle konklusioner. Gas-el-hybridløsninger (gaskedel og varmepumpe) bør i den forbindelse undersøges for at finde den bedste løsning til eksisterende naturgasområder.

Kundernes præferencer for individuelle eller kollektive løsninger kan også have betydning for, om der vælges individuel opvarmning eller fjernvarme.

³¹ Det betyder at med uændrede regler – og uden en specifik allokering til ikke-kvotesektoren via fx certifikater – kan CO₂ skyggeprisen for øget anvendelse af biogas være betydeligt højere end vist i denne analyse, idet kun halvdelen af CO₂-reduktionen ved naturgas fortrængning kan tilskrives ikke-kvotatudlednings regnskabet.

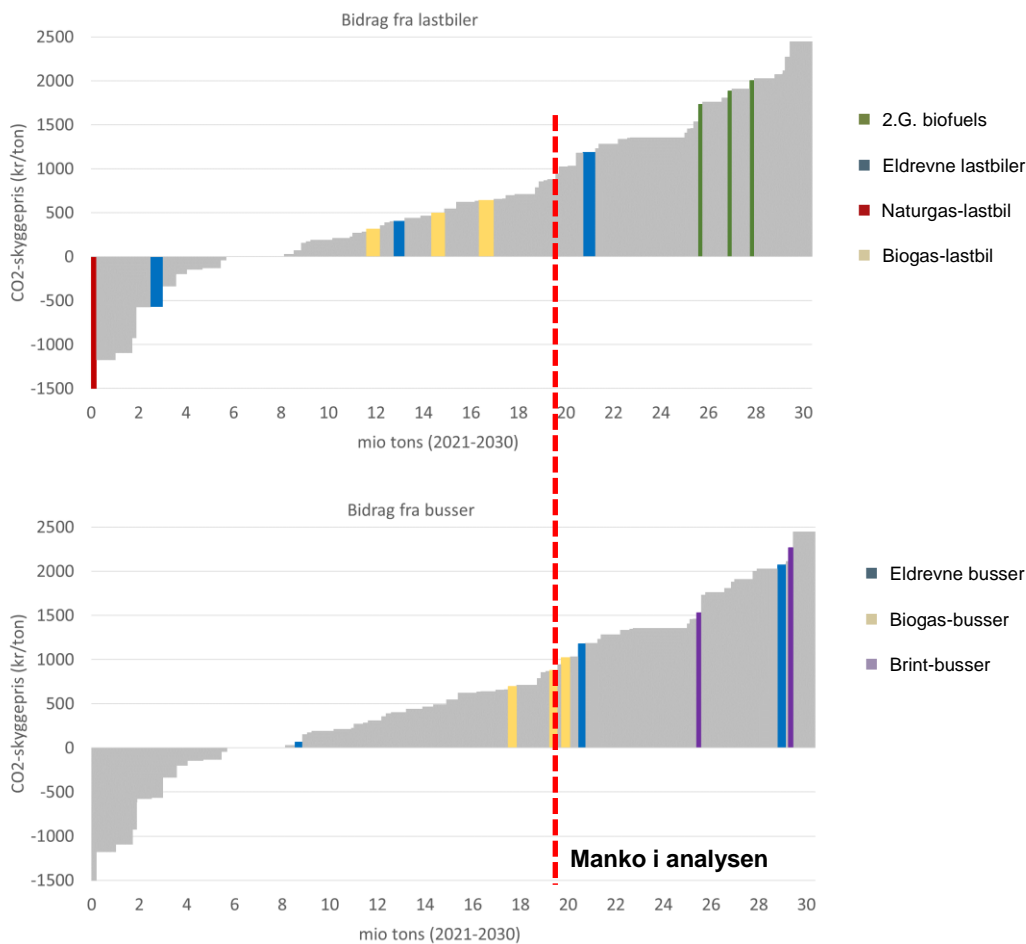
6.3 Biogas er blandt billigste løsninger i tung transport

På figuren er vist bidragene i MAC-kurven fra tung transport, hhv. lastbiler og busser. Generelt er CO₂-skyggepriserne lavere for lastbiler end busser, bl.a. pga. gennemsnitlig længere årligt kørselsbehov.

Det ses, at biogas er blandt de billigste løsninger inden for tung transport. Særligt gas til lastbiler er blandt de tiltag med billige CO₂-fortrængningsomkostninger over hele perioden 2021-2030. Dette peger på, at biogas med fordel kan anvendes i tung transport til at fortrænge diesel. Herved skabes større værdi, end ved at øge mængden af biogas til fortrænger naturgas inden for opvarmning.

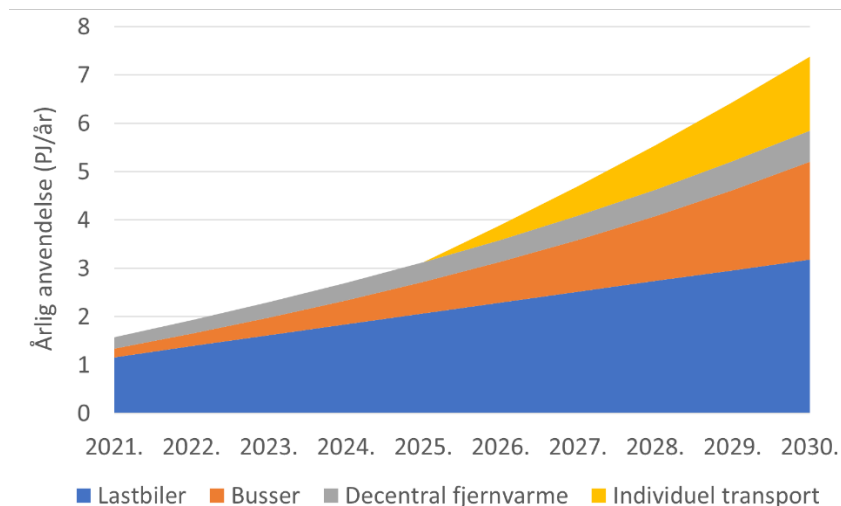
Figuren viser dog også, at eldrevne (batteri) lastbiler og busser kan opnå lave CO₂-skyggepriser i fremtiden og dermed være en konkurrent for biogas inden for tung transport.

Figur 39. MAC-kurve med fremhævede bidrag fra alternative teknologier inden for tung transport.



Der forventes meget lidt gas (<0,5 PJ i 2030) i transport i Basisfremskrivningen, hvilket betyder, at der er behov for en markant indsats for at indfri en ambitiøs udbredelse af gas frem mod 2030 på fx 15-30 pct. af transportbehovet inden for lastbiler og andre tunge køretøjer.

Figur 40. Anvendelse af biogas ifølge MAC-kurven. Hertil kommer et bidrag fra naturgas til lastbiler i samme størrelsesorden som biogas til lastbiler. Figuren viser, at biogas ifølge den samfundsøkonomiske analyse primært skal anvendes i transportsektoren.



Der er dele af den tunge transport - specielt rutebusser og mindre lastbiler - der med eksisterende teknologi relativt enkelt kan omstilles til gas- eller eldrift. Desuden er der i landbrug og industri en række tunge transportbehov, som med fordel kan omstilles til gas/el drift, uden at det nødvendigvis kræver store investeringer i kollektiv infrastruktur³².

(Fremsyn 2017) vurderer at biogasforbruget til transport kan øges til ca. 6 PJ/år i 2030 ved at benytte nuværende teknologi inden for gas til tung transport til hhv. bus, renovation og citytransport. Dette er i samme størrelsesorden, som forudsat i nærværende analyse for gas potentiale (jf **Figur 40**).

6.3.1 Barriere: For svagt incitament til grøn omstilling af tunge lastbiler

Som vist i kapitel 4.5, er det særligt lastbiler med stort lastbehov (sættevogne og anhængere), der udgør en stor del af transportarbejdet inden for tung transport. Samtidig er der i dag ikke et udvalg af el- eller gaskøretøjer, der kan opfylde disse kørselsbehov med høj lastevne.

Det er vanskeligt for Danmark at påvirke udviklingen af tunge køretøjer samt etablering af el-/gas-ladeinfrastruktur i andre lande. Ikke desto mindre er fx ladestationer til gas væsentlig bedre udbygget i vores nabolande Tyskland og Sverige (Chalmers 2017).

Produktionen af biogas er løbet foran anvendelsen af gas/biogas til transport. Der er et for svagt incitament til at få brugt fx grøn gas i tung transport i forhold

³² Fortrængning af diesel fra lastbiler til gylle-/affalds-transport til biogasanlæg er et bud på faste kørselsruter der kan benytte gas i takt med, at der kommer større udbud af gasdrevne lastbiler med højere lastevne.

til incitamentet til at producere biogassen. Dette er illustreret i **Tabel 12**, hvor det ses at der betales tilskud til biogas opgradering, men afgiften på biogas er ikke differentieret fra naturgas, og i øvrigt på afgiftsniveau³³ som diesel målt i kr pr. GJ.

Tabel 12. Afgifter og tilskud til udvalgte transportbrændsler i Danmark i 2014 (COWI 2014).

	Diesel	B7	B10	Biodiesel	Naturgas	Opg. biogas	Opg. biogas, uden om net
	Kr./L	Kr./L	Kr./L	Kr./L	Kr./m ³	Kr./m ³	Kr./m ³
Afgifter							
Energiafgift	kr. 2,63	kr. 2,61	kr. 2,61	kr. 2,45	kr.2,92	kr.2,92	kr.2,92
CO2afgift	kr. 0,44	kr. 0,41	kr. 0,40	kr. -	kr.0,38	kr.0,38	kr. -
NOxafgift	kr. 0,05	kr. 0,05	kr. 0,05	kr. 0,04	kr.0,14	kr.0,14	kr.0,05
Svovlafgift	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -
Afgifter i alt	<u>kr. 3,12</u>	<u>kr.3,07</u>	<u>kr.3,05</u>	<u>kr.2,49</u>	<u>kr.3,44</u>	<u>kr. 3,44</u>	<u>kr. 2,97</u>
CO2-kvote							
	<u>kr. -</u>	<u>kr. -</u>	<u>kr. -</u>	<u>kr. -</u>	<u>kr.0,10</u>	<u>kr. -</u>	<u>kr. -</u>
Tilskud							
Grundtilskud, naturgasnet	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr.3,12	kr. -
Tilskud, bl.a. transport	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr.1,54
Tilskud, prisafhængigt	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr.1,03	kr.1,03
Tilskud, aftrappes	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr. -	kr.0,40	kr.0,40
Tilskud i alt	<u>kr. -</u>	<u>kr. -</u>	<u>kr. -</u>	<u>kr. -</u>	<u>kr. -</u>	<u>kr. 4,55</u>	<u>kr. 2,97</u>

6.3.2 Anbefaling: Styrk infrastruktur og genovervej incitamenter til grøn omstilling i tung transport

Nye incitamenter til grøn tung transport

For at sikre at biogas i højere grad anvendes i transport er det værd at overveje ændringer i støtte/markedsmodellen for biogas, således at det i højere grad er tilskyndelse til anvendelse af biogas indenfor tung transport frem for kun støtte til produktionen af biogas. Denne model ses fx i Sverige.

Desuden er der behov for at markedsmodeller herunder afgifter og støtte, VE-regnskab, grønne gas certifikater og iblandingskrav (handel med bio/e-tickets) i højere grad støtter op om hinanden, også mellem lande.

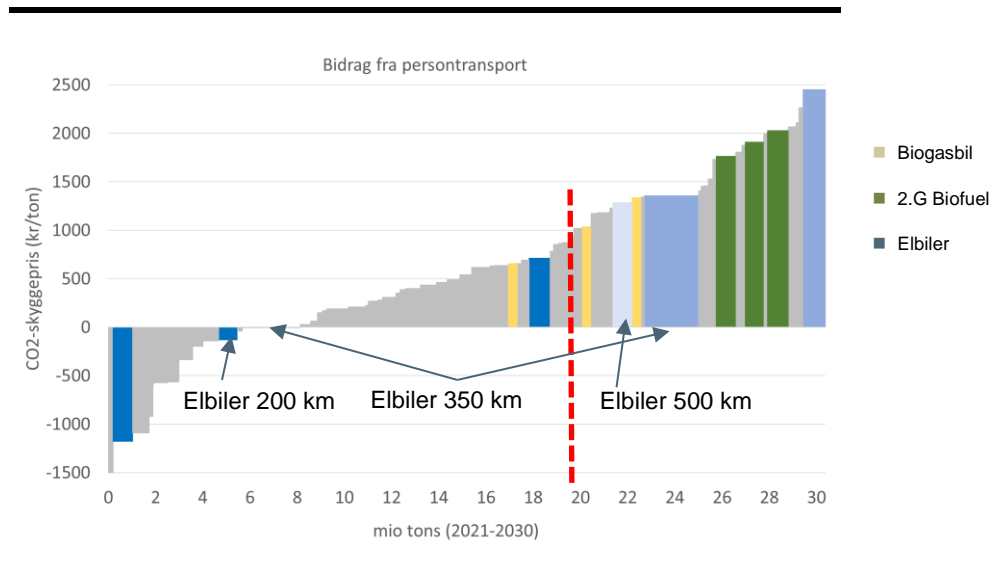
En større efterspørgsel på grøn gas og el er en forudsætning for rentable ladeinfrastruktur for el og gas, men der vil givetvis i en årrække være behov for at løbe foran med udviklingen i infrastruktur for sikre grøn tung transport har tilstrækkelige muligheder – dette kræver både en dansk og europæisk ambition om at øge den grønne omstilling indenfor særligt tung transport.

³³ Diesel: 3,12 kr/L / (35,9 MJ/L) = 86,9 kr/GJ. Naturgas/biogas: 3,44 kr/m³ / (39,9 MJ/m³) = 86,2 kr/GJ

6.4 Elbiler kan blive samfundøkonomisk attraktive

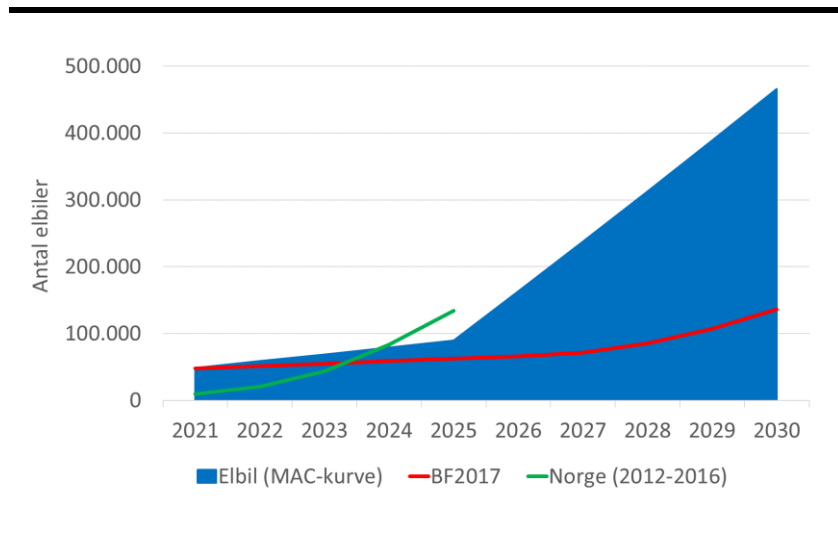
På figuren er vist bidragene i MAC-kurven fra persontransport. Generelt ses et kraftigt fald i CO₂-skyggeprisen over perioden i takt med at elbiler falder i pris. Elbiler med kort rækkevidde er blandt tiltagene med laveste CO₂-skyggepris for både lineær, gradvis og sen indfasning. Elbiler med længere batterirækkevidde har også et kraftigt fald over perioden og kan i den sidste del af perioden være blandt de billige løsninger.

Figur 41 MAC-kurve med fremhævede bidrag fra persontransport



Mængden af CO₂-fortrængning fra elbiler til opfyldelse af mankoen i MAC-kurven svarer til i størrelsesordenen en halv million elbiler i 2030.

Figur 42 sammenligning af antal elbiler i MAC-kurven³⁴ og i Basisfremskrivningen frem til 2030 samt udviklingen i elbiler i Norge³⁵.



³⁴ Det faktiske forløb af elbiler i MAC-kurven følger af de valgte indfasningsprofiler. Faktisk indfasning vil formentlig være mere gradvis, svarende til en større og større andel af nybilsalget.

³⁵ I Norge har der siden ca. 2012 været en eksponentiel udvikling i antallet af elbiler, primært drevet af afgifts- og momsfratagelse, særlige fordele i byzoner ift kørsel i busbaner samt parkeringsforhold. Elbiler udgjorde ca. 1/3 af nybilsalget i Norge i 2016 og der er over 100.000 elbiler i Norge i dag (https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car_use_by_country#/media/File:Registrations_EVs_Norway_2004_2013.png). I Danmark er der i dag solgt er ca. 10.000 elbiler hvor de fleste er til flådeoperatører

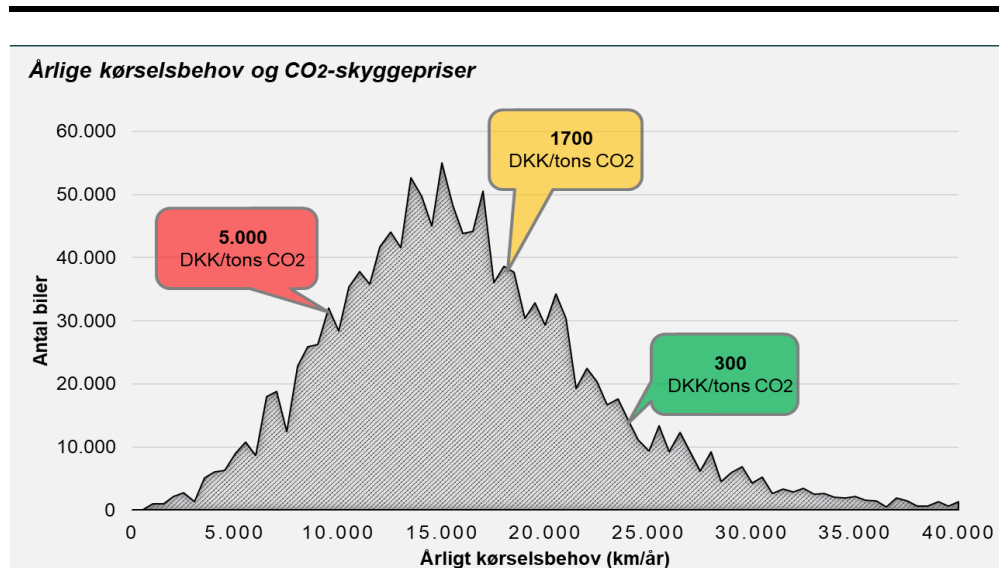
Det er særligt fra 2025 at der (ud fra samfundsøkonomiske forudsætninger) bør ske en kraftig indfasning af elbiler. Som det ses på **Figur 42** fører dette til væsentlig flere elbiler end der forudsættes i Basisfremskrivningen.

CO₂-skyggeprisen afhænger af kørselsbehovet

Elbiler har høj kapitalomkostning (bil og batteri) og det har derfor betydelig indflydelse hvor mange kilometer elbilsinvesteringen afskrives over. Flere årlige kørte kilometer giver lavere betydning af investering og større betydning af driftsøkonomien. Konventionelle biler er omvendt billigere i investering og dyrere i drift end elbiler, hvilket gør at CO₂-fortrængningsomkostningen falder for elbiler med flere årlige kørte kilometer.

På **Figur 43** er vist forventet CO₂-skyggepris for elbiler med kørselsbehov på hhv. 10.000, 17.500 og 25.000 i 2020. Der er betydeligt højere CO₂-skyggepris ved lave frem for høje årlige kørselsbehov. Ved kørselsbehov på over 25.000 km er CO₂-skyggeprisen allerede i 2020 lav og vil være blandt de billige tiltag.

Figur 43 Illustration af CO₂-skyggepris i 2020 for forskellige årlige kørselsbehov (10.000, 17.500 og 25.000 km/år) for elbil med 350 km batterirækkevidde.



Fordelingen af årlige kørselsbehov er uddybet i Bilag 8.3.3. Fordelingen kan blive ændret i fremtiden såfremt delebiler vinder frem, eftersom de typisk har lange årlige kørselsbehov og i en vis grad vil erstatte biler, som ellers havde korte kørselsbehov. Elbiler som delebiler vil derfor tilhøre gruppen med forventelig lavere CO₂-skyggeprisen end gennemsnitlige elbiler. Andre eksempler på elbiler med potentielle lange årlige kørselsbehov er fx firmabiler, taxier eller langdistance-pendlere.

6.4.1 Barriere: Anskaffelsespris for elbiler er for høj

Elbiler har en række fordele men også ulemper ift. konventionelle biler. Bilkøbere nævner ofte begrænset rækkevidde, høj anskaffelsespris, begrænset antal bilmodeller og bekymring for gensalgsværdi som barriere for at købe elbil.

I Bilag 8.3.1 er vist hvordan anskaffelsesprisen (inkl moms og afgifter) for elbiler idag er ca. 15-35 pct. højere for sammenlignelige benzinbiler. Dette på trods af at elbiler i dag er afgiftsfritaget, dvs. benzinbiler er fortsat betydelig billigere selv

med afgifter. Forholdet mellem anskaffelsespris for el- og benzinbiler er derfor afgørende for bilkøbernes valg – dette understøttes af erfaringer fra Norge hvor prisforholdet er markant bedre for elbiler og dette har været en medvirkende årsag til et gennembrud for elbiler i Norge, jf **Figur 42**.

I bilaget er desuden vist at forventet prisfald på elbiler vil udjævne forskellen i anskaffelsespris ift benzinbiler. Indfasning af registreringsafgift på elbiler vil dog alt andet lige virke den modsatte retning og fastholde en forskel mellem el- og benzinbiler.

6.4.2 Anbefaling: Indsats for elbiler med langt årligt kørselsbehov giver lavere CO₂-skyggepris

Fokus på elbiler med laveste pris for CO₂-reduktion

Analysen viser altså at på kort sigt er elbiler ikke nødvendigvis blandt billigste CO₂-reduktionsmuligheder udenfor kvotesektoren. Analysen viser at CO₂-prisen primært afhænger af elbilomkostningen samt det årlige kørselsbehov, således at elbiler med kort batterirækkevidde samt elbiler, der kører mange kilometer om året kan være billige CO₂-reduktionsmuligheder på kort sigt.

Der er en andre gevinster ved elbiler end CO₂-reduktioner i form af mindre lokal forurening fra støj og partikler, hvor el- og brintbiler er blandt de få muligheder for helt at fjerne denne forurening. Elbiler er desuden en teknologi, hvor der løbende skal findes de rigtige løsninger ift. forbrugernes præferencer, ladeinfrastruktur samt integration i elsystemet.

Samlet peger dette på at fremme elbiler særligt hvor man får stor CO₂-reduktion for pengene eller hvor lokale miljøgevinster er særligt vigtige.

Eksemplet på tiltag³⁶ der vil fremme elbiler med lange kørselsbehov:

- Sænket elafgift – dette fremmer elbiler generelt, men særligt dem der kører langt
- Delebiler: Lavere beskatning af debilen
- Firmabiler: Grøn firmabilskat ved at sænke skatten på fri bil for medarbejdere med grønne drivmidler
- Pendlere: Højere befordringsfradrag for elbiler med lange årlige kørselsbehov³⁷

Prisforholdet mellem el- og benzinbiler skal forbedres

Analysen viser at for at fremme elbiler er det ikke nok kun at kigge på registreringsafgiften for elbiler, da denne i dag er stort set nul i Danmark. Erfaringer fra Norge underbygger at det bl.a. handler om prisforholdet i anskaffelsespris mellem elbiler og benzinbiler. Den politiske aftale fra d. 21. september 2017 medførte ingen stor ændring af prisforholdet mellem el- og benzinbiler i Danmark. Registreringsafgiften er fortsat baseret på bilens værdi med et fradrag for bl.a. brændstoføkonomi og sikkerhed. Der har ofte været nævnt en omlægning til teknisk baseret registreringsafgift (afhængig af bilens emission og sikkerhed) som en måde at forbedre prisforholdet mellem el- og benzinbiler.

³⁶ Konkrete forslag til ændringer i skattesatser, afgifter og tilskud giver Dansk Energi ikke i nærværende analyse

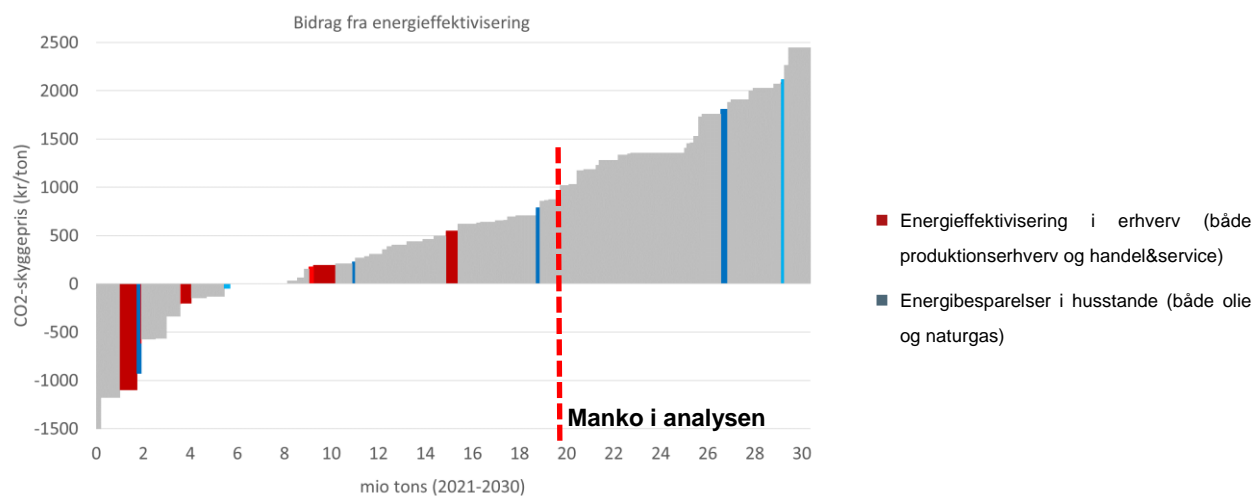
³⁷ Her er der en række hensyn som skal tages for ikke at fremme biler på bekostning af andre grønne alternativer såsom offentlig transport og cykler.

Analysen viser at det forventede fald i elbilomkostningen (pga. billigere batterier samt storskalaproduktion) i sig selv vil være en væsentlig forudsætning for at elbiler kan konkurrere - særligt indenfor det nuværende danske afgiftssystem.

6.5 Energieffektivisering i erhverv er billigere end i husholdninger

På **Figur 44** er vist bidraget i MAC-kurven fra energieffektivisering i erhverv og husholdninger.

Figur 44. MAC-kurve med fremhævede bidrag fra energieffektivisering

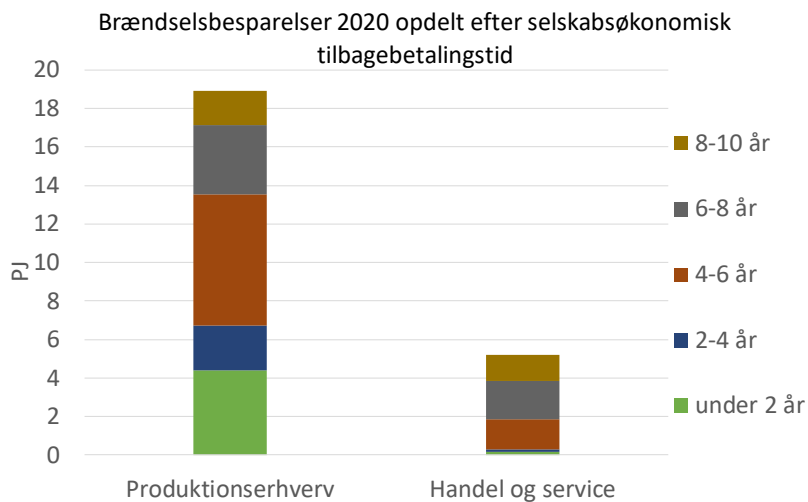


Potentialet for CO₂-reduktioner er samlet større og de samfundsøkonomiske omkostninger generelt lavere i erhverv end i husholdninger. I det efterfølgende ses på barrierer indenfor erhverv, og efterfølgende på anbefalinger for både erhverv og husholdninger.

6.5.1 Barriere: Potentialer i erhverv indfrir ikke sig selv med nuværende lave afgifter

I erhverv er der fortsat et betydeligt forbrug af fossile brændsler, særligt naturgas. Som MAC-kurven viser kan dette reduceres for rimelige samfundsøkonomiske omkostninger og hermed give et betydeligt bidrag til klimamålet mod 2030.

Virksomheder har typisk forventninger om kort tilbagebetalingstid (op til fx 2-4 år) for at gennemføre energibesparelser. I **Figur 45** ses det dog at den privatøkonomiske tilbagebetalingstid er længere for en betydelig del af potentialerne. Særligt for produktionserhverv, hvor mere end 60 procent af besparelspotentialet har tilbagebetalingstider, som er længere end 4 år. Dette tyder på at disse tiltag ikke vil blive gennemført uden at der skabes yderligere incitament eksempelvis tilskud eller aftaleordning.

Figur 45. Brændselsbesparelser for erhverv opdelt i tilbagebetalingstider

Erhvervsvirksomheder betaler oftest kun procesafgifter for brændsler og el. Det betyder, at tilbagebetalingstiden for energieffektiviseringstiltaget alene afhænger af brændselsbesparelser. Sammenlignet med andre sektorer, som betaler højere energifgifter, har erhvervssektoren et relativt begrænset incitament til at realisere deres energibesparelspotentialer.

Eftersom energieffektivisering i erhverv er blandt de billige CO₂-reduktionstiltag er der derfor behov for en mekanisme, som kan sikre at besparelser med længere privatøkonomisk tilbagebetalingstid også gennemføres.

6.5.2 Anbefaling: Virkemidler skal målrettes mod at fortrænge fossile brændsler i erhverv

Energibesparelser indenfor erhverv støttes idag uden krav om at energibesparelserne skal bidrage til færre fossile brændsler. Hermed opnås kilowatttimebesparelser, men ikke nødvendigvis mindre CO₂-udledninger. Hvis man fremadrettede ønsker at understøtte målopfyldelsen på det ikke-kvotefattede område bør man derfor fokusere på at målrette virkemidler, så erhvervssektoren gives de rette incitamenter til at energieffektivisere på en måde, som primært reducerer forbruget af fossile brændsler.

På samme tid skal man dog være opmærksom på, at langt størstedelen af danske produktionserhverv konkurrerer på internationale markeder. Derfor skal man være varsom med at pålægge virksomhederne ekstra afgifter som ender med at fordyrer deres produktion. Hvilket i sidste ende kan resultere i, at danske produktionserhverv flytter til udlandet, hvor rammebetingelserne er mere fordelagtige.

Derfor skal man sikre, at virkemidlerne målrettes til at give dansk erhverv et konkret incitament til at finde energieffektiviseringer uden at forringe deres konkurrencesituation. Dette kan fx være målrettede udbud, hvor der bydes energieffektiviseringer ind mod at opnå tilskud.

Højtemperatur varmpumper i industrien bør demonstreres

Det tekniske potentiale for varmeleverance fra højtemperatur varmpumper (se Bilag 8.4.2) er omkring 20 PJ/år (**Figur 19**). Højtemperatur varmpumper kan derfor potentielt udgøre en betydelig del af energieffektiviseringsindsatsen i produktionserhverv.

Dette vil kræve støtte til demonstration af højtemperatur varmpumper, eftersom der ikke findes mange eksempler i virksomhederne på proof-of-concept indenfor forskellige procesvarmebehov. En succesfuld demonstration af højtemperaturvarmpumper i Danmark kan desuden åbne for eksportmuligheder, eftersom højtemperatur varmebehov til opvarmning er udbredt i mange typer industrier verden over.

Bygningsreglementet bør evalueres

I dag drives energibesparelser i husholdninger særligt via krav i Bygningsreglement, som gælder nye huse eller udskiftning af enkeltkomponenter i eksisterende huse, fx vinduer. Desuden via krav til ecodesign af apparater. Dette betyder at der opnås generelle kilowatttimebesparelser, men ikke en særskilt indsats for at reducere CO₂ (og i denne sammenhæng særligt CO₂ i ikke-kvotesektoren).

Generelt peger resultaterne i retning af at ambitionsniveauet i Bygningsreglementet (med undtagelse af krav til vinduer) ikke bør hæves, men at der skal fokuseres på at nuværende krav overholdes frem for at pålægge krav om yderligere investeringer i besparelser, som ikke vil være samfundsøkonomisk rentable. Den høje omkostning for yderligere vægisolering peger på, at bygningsreglementets nuværende krav måske er for stramme på dette punkt.

7 Følsomhedsscenarioer

Ved at analysere konsekvenser af mulige alternative forløb for faktorer, som vurderes at have særlig stor indflydelse på resultater kan robusthed af konklusioner testes. Konklusionen på følsomhedsscenarioerne er, at konklusionerne fra kapitel 5 og 6 for så vidt angår rangorden af klimatiltag generelt er robuste overfor ændringer i fossile brændselspriser, ændringer i forudsat elpris og ændringer i biogasproduktionsomkostninger. Til gengæld påvirkes den samlede regning for at levere de nødvendige CO₂ reduktioner af ændringer i disse tre parametre. Følsomhedsscenarioerne viser endvidere, at ændringer i forudsat pris på elbiler dels påvirker den indbyrdes rangorden af klimatiltag, dels giver meget store udsving i vurderingen af de samlede omkostninger til at opfylde CO₂-målet udenfor kvotesektoren markant. Den store betydning elbilsprisen har i den samlede pris på klimapakken viser at elbiler en nøgleteknologi til at opnå en billig grøn omstilling. Hvis ikke elbilerne leverer bliver prisen på målopfyldelse markant højere.

I følsomhedsscenarioerne undersøges hvordan ændrede antagelser for udvikling i fossile brændselspriser, biogasproduktionsomkostninger og elpriser samt elbilspriser påvirker analysens konklusioner om samlede omstillingsomkostninger og sammensætning af billigste CO₂-tiltag. Hermed kan følsomhedsscenarioerne sige noget om hvor robuste konklusionerne er samt hvilke faktorer, som potentielt kan ændre markant på konklusionerne.

7.1 Scenarieparametre

I afsnittet laves scenarier ud fra variation i følgende parametre:

1). Udvikling i brændselspriser (inkl. elpris)

- Fossile brændselspriser (olie/diesel, benzin, naturgas)
- Biogasproduktionspris
- Betydning af at regne med højere elpris svarende til havvind produktionsomkostninger

2). Udvikling i elbilspris

I alle scenarier er CO₂-skyggeprisen for besparelser i husholdninger samt besparelser/konverteringer i erhverv holdt konstant³⁸.

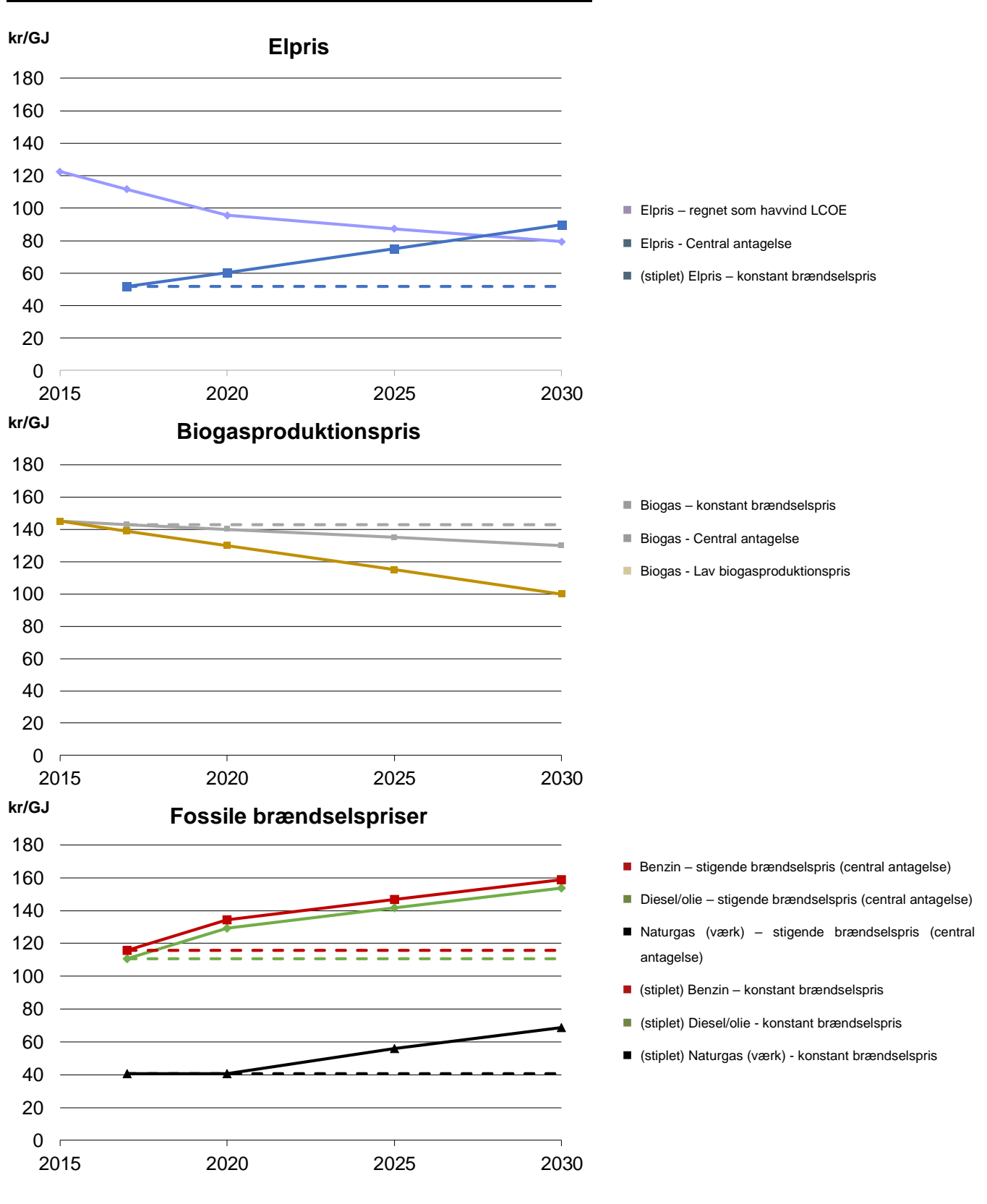
7.1.1 Scenarier for brændselspriser

På **Figur 46** er vist forskellige scenarier for hhv. elpris, biogasproduktionspris samt fossile brændsler ift. centrale antagelser (Energistyrelsen 2017b).

For alle brændslerne er vist et scenarie med "Konstante brændselspriser" svarende til at alle brændselspriserne fastholdes på 2017-niveau.

³⁸ CO₂-fortrængningsomkostningen for besparelser vil alt andet lige stige med lave frem for høje fossile brændselspriser.

Figur 46 Elpris, biogaspris og fossile brændselspriser i forskellige scenarier



For elprisen er vist forventet LCOE (Levelized Costs of Electricity) for havvind, som en antaget max pris på grøn strøm til elektrificering. I forhold til at opfylde målet for de ikke-kvotefattede sektorer er det dog ikke en forudsætning at strømmen er grøn. Øget brug af el fremfor olie og gas vil under alle omstændigheder fjerne udledninger udenfor kvotesektoren – uanset at det øgede elforbrug kan give anledning til ekstra CO₂ i kvotesektoren. Lave VE-omkostninger til vind og sol samt ambitiøse VE-mål peger dog i retning af at nyt elforbrug vil blive forsynet af ny VE-produktion over tid (Dansk Energi 2017b).

For biogas-produktionspris er vist en alternativ udvikling med et kraftigt prisfald (-3 kr/GJ pr år frem for kun -1 kr/GJ i centrale antagelser). Det er ikke estimeret hvad der skal til for at indfri dette prisfald, så scenariet tjener primært til at illustrere betydningen af lavere biogasproduktionspris.

Biogas-produktionsprisen udgøres groft sagt af tre omtrent lige store dele: Omkostninger til brændsler, drift og vedligehold samt kapitalomkostninger til biogasanlæg og opgraderingsanlæg. Der er en række faktorer som kan sænke den samfundsøkonomiske omkostning ved biogasproduktion, fx:

- Øget konkurrence om laveste produktionsomkostninger
- Storskalaanlæg kan bl.a. sænke kapitalomkostninger yderligere.
- Omkostninger til brændselskøb afhænger af markedssituationen for restprodukter (gylle, dybstrøelse, halm, affald), så der kan potentielt bruges billigere brændsler i fremtiden.
- Drift og vedligehold kan muligvis effektiviseres ifm. hentning af gylle og andre restprodukter.
- Nye produktionsanlæg kan øge gasproduktionen.
- Sænke opstrømmissioner yderligere fx ved hurtigere afventning af gylle i stalde, lavere methanudslip fra biogasanlæg

Omvendt kan fremtidige anlæg også risikere dyrere brændsel- og driftsomkostninger, bl.a. fordi stederne med de største gyllekoncentrationer allerede er udnyttet og der derfor skal køres længere ved nye anlæg.

7.1.2 Scenarier for prisen for elbiler

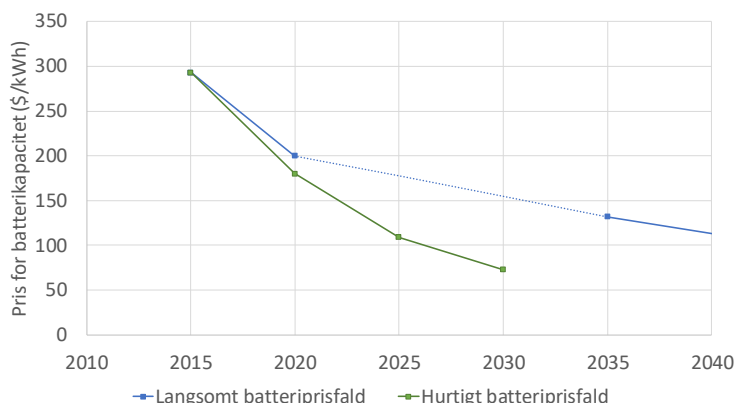
Kapitalomkostningen er høj for elbiler, og udviklingen i samlet pris for elbil derfor af afgørende betydning for den samlede samfundsomkostning og hermed CO₂-skyggeprisen. Der er lavet scenarier for elbilsprisudviklingen ud fra følgende parametre:

- Omkostning for batteri
- Omkostning for resten af elbilen

Omkostning for batteri dækker anskaffelse og vedligehold/udskiftning af batteri-celler undervejs i elbilens levetid³⁹. To udviklinger for anskaffelsesprisen for batterikapacitet er vist på **Figur 47**.

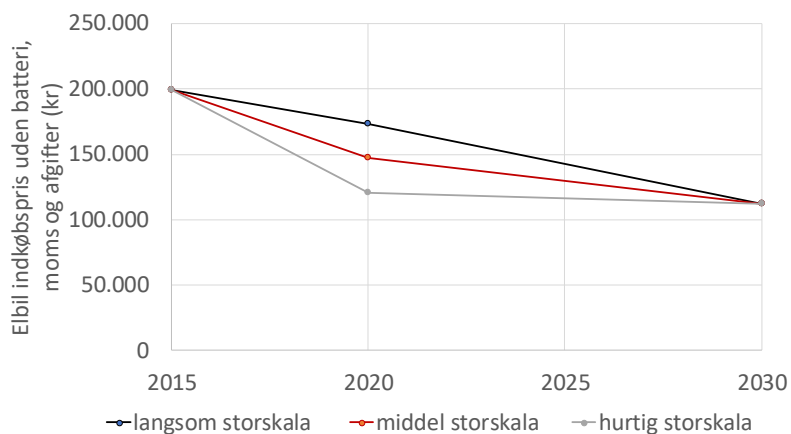
³⁹ Der antages at være behov for udskiftning af batteriets celler efter 10 år og i resten af batteriet levetid, som er antaget til 16 år i stil med resten af elbilen. Der antages 5% udskiftning af batteriet pr år og prisen afhænger af fremtidig batteriomkostning (kilde: estimat fra Dansk Elbilsalliance). Hermed får elbiler med større batterirækkevidde en højere vedligeholdelsesomkostning til batteriet.

Figur 47 Udvikling i batteriprisen (\$/kWh). "Langsomt batteriprisfald" er fra (Dansk Energi 2016) mens "Hurtigt batteriprisfald" er fra (Bloomberg 2017).



Omkostning for resten af elbilen forventes at blive sænket som følge af storskalagevinster, innovation og øget konkurrence ved højere markedsvolumen af elbiler. Der er en naturlig sammenhæng til udviklingen i batteriprisen eftersom fald i denne fører til bedre konkurrenceevne for elbiler og hermed større storskalaeffekt.

Figur 48 Udvikling i indkøbspris for elbil uden batteri (ved 25 kWh batteri). "Hurtig storskala" er taget fra (Dansk Energi 2016) mens scenarierne for middel og langsom er lavet som hhv. 2/3 og 1/3 af prisfaldet i "Hurtig scenariet" frem mod 2020.



Scenarier for udvikling i elbilpris er hermed defineret som:

Tablet 13. Scenarier for elbilpris ud fra udviklinger i omkostning til batteri og resten af elbilen. I det centrale scenarie er anvendt middel elbilpris.

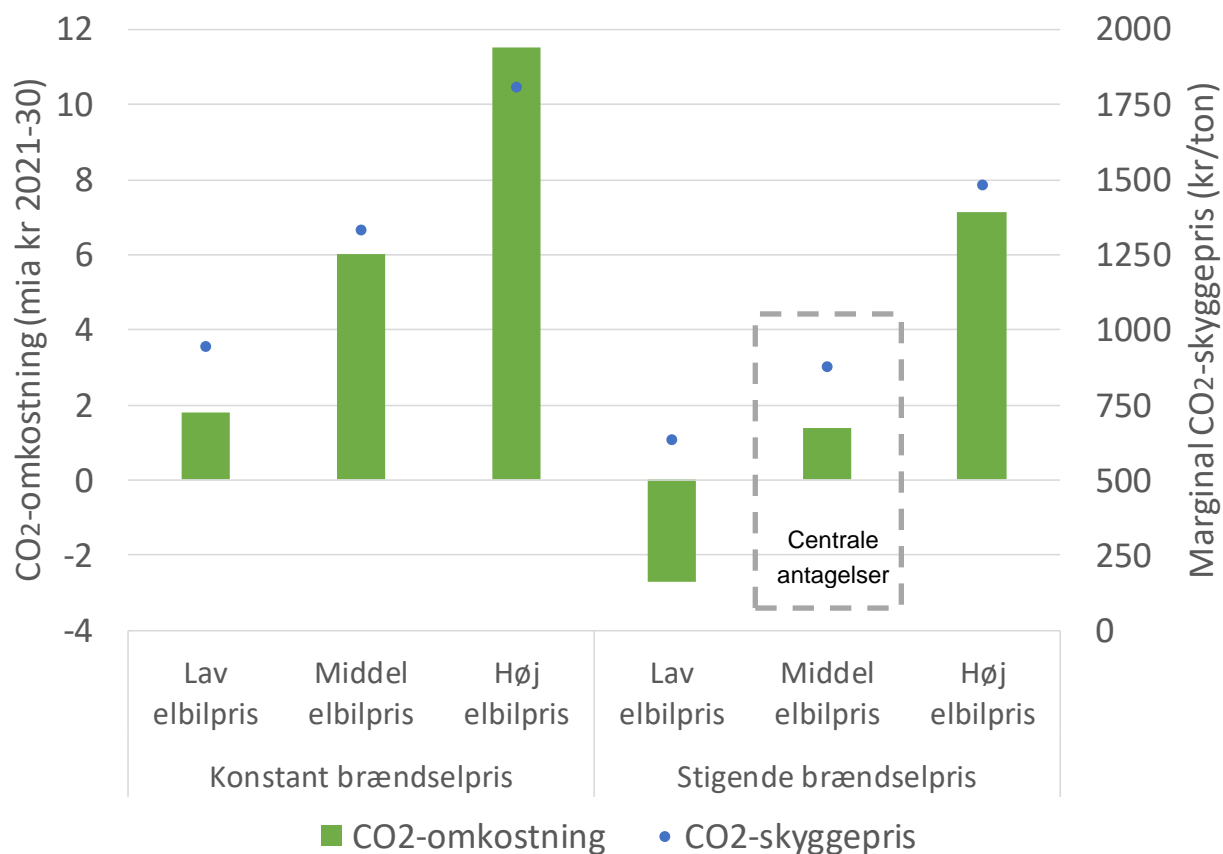
Scenarie for elbilpris	Omkostning til batteri	Omkostning til resten af elbilen
Høj elbilpris	Langsomt batteriprisfald	Langsom storskala
Middel elbilpris	Hurtigt batteriprisfald	Middel storskala
Lav elbilpris	Hurtigt batteriprisfald	Hurtig storskala

7.2 Brændselspriser og elbilspriser har stor betydning for omkostninger til grøn omstilling

De centrale antagelser i denne rapport er Middel elbilpris og Stigende brændselspris. Med disse antagelser vurderes de samlede omkostninger til at gennemføre de nødvendige klimatiltag at være i størrelsesordenen 1,5 mia. kr. over perioden 2021-30 og den marginale CO₂-skyggepris ca. 850 kr/ton (jf. kapitel 5.2).

På Figur 49 er vist CO₂-fortrængningsomkostninger over perioden 2021-2030 samt den marginale CO₂-skyggepris for de tre scenarier af elbilspriser for hhv. fastholdte 2017-brændselspriser samt stigende brændselspriser.

Figur 49 Omkostninger⁴⁰ samt marginal CO₂-skyggepris til opfyldelse af CO₂-manko 2021-2030 i scenarier med forskellige elbilspriser og brændselspriser.



Lave elbilspriser i kombination med stigende brændselspriser fører til en samlet samfundsøkonomisk gevinst på ca. 3 mia. kr. ved at opnå klimamålet og den marginale CO₂-skyggepris falder til ca. 600 kr./ton. Konklusionen er altså at billige elbiler kan medføre at den samlede regning ved omstillingen af transport, erhverv og opvarmning ender med et samfundsøkonomisk plus.

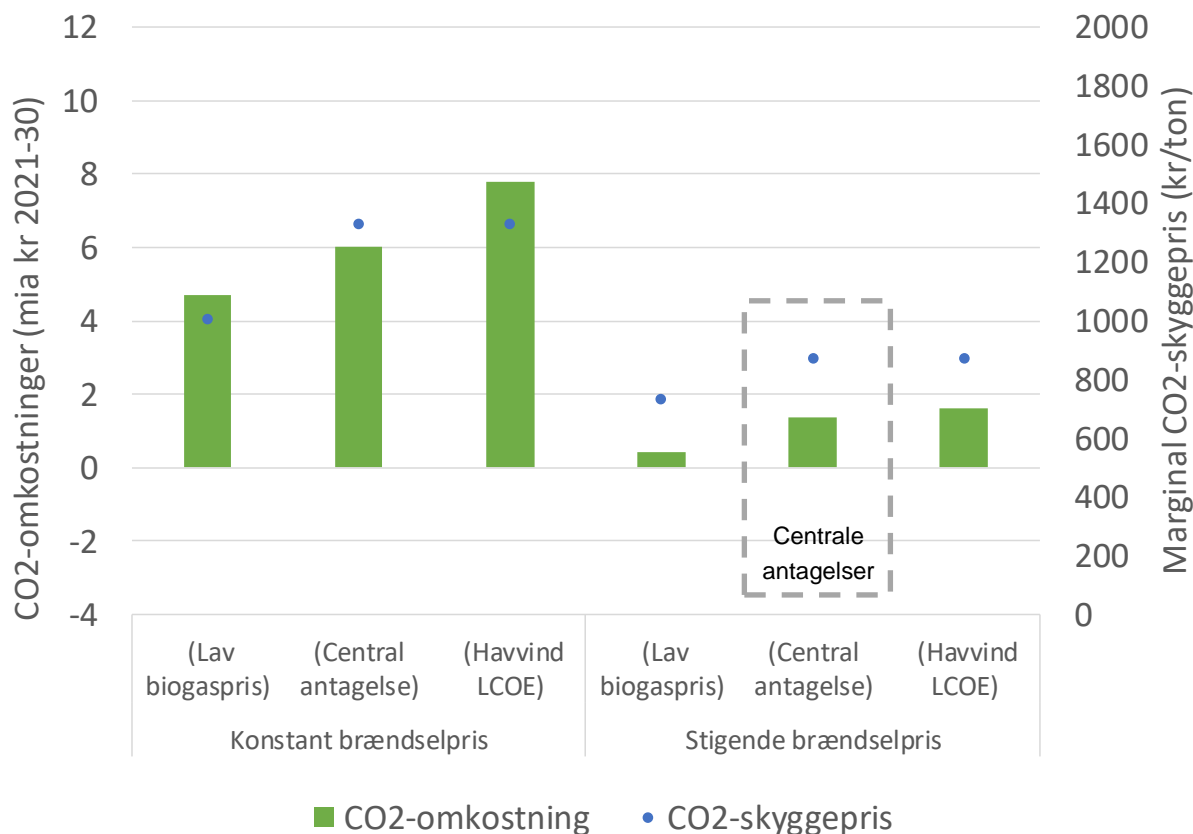
Høje elbilspriser i kombination med stigende brændselspriser vil derimod føre til samlede samfundsomkostninger på ca. 7 mia. kr. og at den marginale

⁴⁰ CO₂-fortrængningsomkostningen ved energibesparelser i husholdninger og industri er fastholdt i alle scenarier, på trods af den vil afhænge af brændselsprisen og falde hvis brændselsprisen er lav.

7.3 Biogas- og elproduktionspris har lav påvirkning på hvilke tiltag der er billigst

På **Figur 51** er vist indflydelsen af lavere biogaspris samt højere elpris (svarende til havvind LCOE) under hhv. konstante og stigende fossile priser. Øvrige faktorer er uændrede i forhold til de centrale antagelser.

Figur 51 Omkostninger samt marginal CO₂-skyggepris til opfyldelse af CO₂-manko 2021-2030 i scenarier med høj elpris (havvind LCOE) og lav biogasproduktionspris for hhv. konstante og stigende brændselspriser.



Lav biogaspris i scenariet med Stigende brændselspriser fører til reduktion i samlede omkostninger, fordi biogas til varme bliver mere attraktivt i konkurrencen med biomasse. Eldrevne varmepumper er dog fortsat billigere end biogas til opvarmning. Med lav biogaspris kan CO₂-mankoen opfyldes en smule billigere og den marginale CO₂-skyggepris falder.

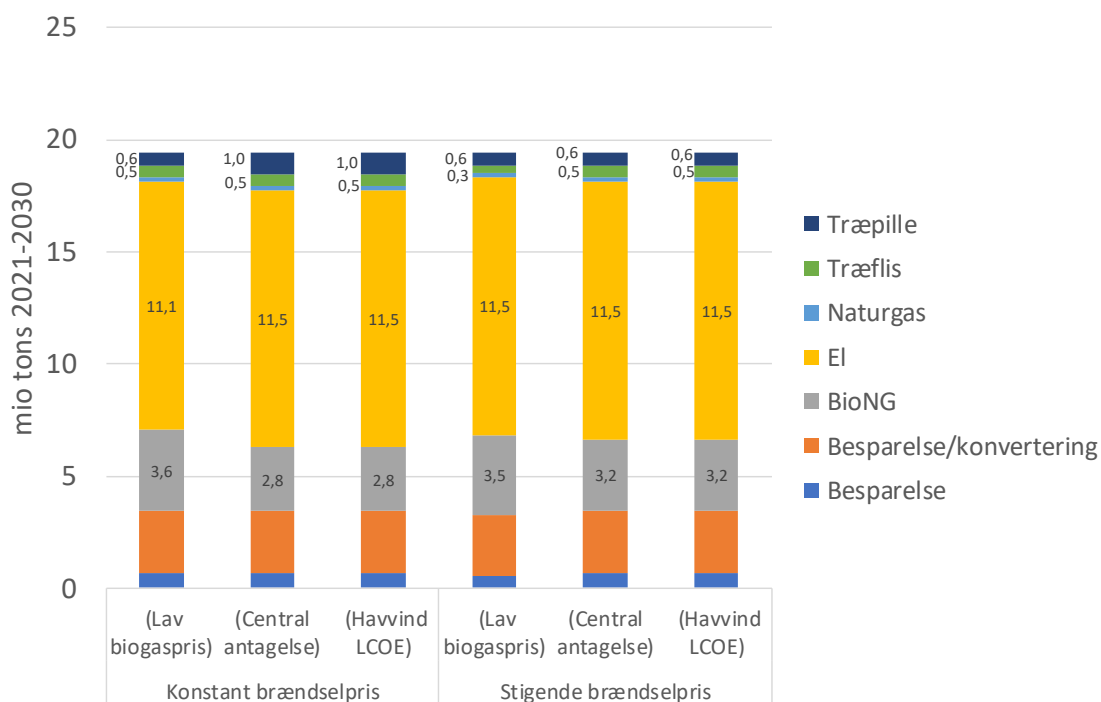
Lav biogaspris i scenariet med Konstant brændselspris fører til ændring i omkostninger og marginal CO₂-skyggepris, hvilket skyldes at biogas til opvarmning får en rolle blandt de billigste tiltag. I dette scenarie skubber mere biogas nogle elbiler med kort batterirækkevidde ud af reduktionspakken.

Høj elpris svarende til havvind LCOE vil primært have betydning i scenariet med Konstant brændselspris, hvor **Figur 51** viser at den samfundsøkonomiske omkostningen stiger med ca. 2 mia. kr. Den marginale CO₂-omkostning er dog uændret. Dette skyldes at højere elpris ikke ændrer på sammensætning af de billigste tiltag eller på omkostningen ved det marginale tiltag. Eller sagt på en

anden måde: en højere elpris hæver omkostningen på de billigste klimatiltag – dog uden at skubbe dem ud af den omkostningseffektive pakke af tiltag.

På **Figur 52** er vist CO₂-reduktionen fordelt på nye brændsler. Konklusionen er at biogas- og elproduktionsprisen har lav indflydelse på den indbyrdes rangorden af tiltag – og dermed hvilke tiltag der bør gennemføres og hvilke der ikke bør. Dette betyder at konklusionerne fra de centrale antagelser er robuste: El til varme er billigst, mens billigere biogas primært har betydning for konkurrencen med biomasse til varme. I forhold til at reducere støtteomkostninger til VE-el og biogas er det dog afgørende at produktionsprisen sænkes i fremtiden.

Figur 52 Bidrag fra ny brændsler til opfyldelse af CO₂-manko 2021-2030 i scenarier med høj elpris (havvind LCOE) og lav biogasproduktionspris for hhv. konstante og stigende brændselspriser.



7.4 Konklusioner på tværs af følsomhedsscenarier

Analysen af alternative forløb for centrale antagelser viser at konklusionerne fra kapitel 5 og 6 er robuste overfor ændringer i fossile brændselspriser, ændringer i forudsat elpris og ændringer i biogasproduktionspris når det gælder om hvilke sektorer, der skal bidrage mest i en omkostningseffektiv klimaindsats. Følsomhedsanalysen viser dog også at den samlede regning for at levere de nødvendige CO₂ reduktioner påvirkes særligt af om de fossile brændselspriser stiger i fremtiden eller er konstante.

Højere elpris og lavere biogasproduktionspris har også en vis påvirkning på den samlede samfundsøkonomiske regning. Endelig viser følsomhedsanalysen at ændringer i forudsat pris på elbiler både påvirker den indbyrdes rangorden af klimatiltag og giver store udsving i vurderingen af de samlede omkostninger til at opfylde CO₂-målet udenfor kvotesektoren.

8 Appendix

8.1 Energibesparelser i husholdninger

Danske husholdninger havde i 2016 et samlet varmekonsum på 160 PJ. Det svarer til 20 procent af det samlede energikonsum i Danmark. Ved at renovere og forbedre eksisterende boliger kan husholdningernes energibehov til opvarmning sænkes, eksempelvis ved at skifte til nyere og bedre isolerede vinduer. Dette kaldes for energirenoveringer.

Et lavere energibehov kan være med til at sænke husholdningernes forbrug af fossile brændsler og dermed reducerer husholdningernes samlede CO₂-udledning. Men renoveringen kan også have andre formål. Udover at reducere boligens varmebehov, kan renoveringer være med til at forbedre boligens indeklima. Ifølge Dansk Byggeri vil et forbedret indeklima lede til højere velvære, trivsel og sundhed.

8.1.1 Renoveringstiltag

Der er mange forskellige renovationstiltag husholdningerne kan lave, hvis de ønsker at energirenovere deres bolig. Men generelt handler det om at boligens klimaskærm, eller med andre ord, isoleringen af boligen forbedres.

Energirenoveringer kan foretages på to forskellige måder. Enten kan man renovere sin bolig udelukkende med det formål, at man ønsker at reducere energibehovet. Alternativt, kan man renovere sin bolig i takt med at der foretages andre renoveringer af boligen.

En bolig består af en lang række komponenter og materialer. Og disse har begrænset levetider og bør udskiftes løbende. Eksempelvis har vinduer en forventet levetid på omkring 25 år. Efter denne periode kan vinduerne være punkteret eller karmene begyndt at rådne. I begge tilfælde er vinduerne utætte, og det kan være hensigtsmæssigt, at udskifte dem med andre vinduer. I dette tilfælde kan boligejeren vælge at opgradere til en bedre energiklasse af vinduer. Hvis energirenoveringen sker som en del af den generelle renovering, har boligejerne den fordel, at de i forvejen har afholdt en udgift til andre ting. Og derfor kun skal afholde den ekstra udgift til de materialer og arbejdskraft som skal til for at lave energirenoveringen. Dette kaldes ofte for marginalomkostninger ved energirenoveringer. Eksempelvis hvis man isolere et tag, når taget i forvejen skal udskiftes, har man lettere adgang og skal derfor ikke bruge penge på at fjerne taget for at få adgang til isoleringen og herefter genetablere taget.

Derudover er boligejere også forpligtet til at leve op til lovgivning og krav i Byggesekretariatet. Byggesekretariatet sætter en række minimumskrav og standarder til byggelementer som anvendes, eksempelvis til energimærkningen af vinduer. I forbindelse med renoveringer kræver Byggesekretariatet, at boligejeren foretager energirenoveringer i den udstrækning, hvor det er økonomisk fordelagtigt.

I denne analyse beregner Dansk Energi nogen af de mest generelle energirenoveringstiltag. I **Tabel 14** ses de konkrete renoveringstiltag, som der

beregnes CO₂-skyggepriser for i dette kapitel. De konkrete tiltag er udvalgt, da det vurderes, at være de energirenoveringer med størst potentiale. For hvert enkelt renoveringstiltag beregnes tre forskellige varianter. Helt konkret varieres tykkelsen eller mængden på isolering i de respektive renovationstiltag. Som baseline tages der udgangspunkt i, at boligen undlader at energirenovere, og dermed beholder sin eksisterende isolering.

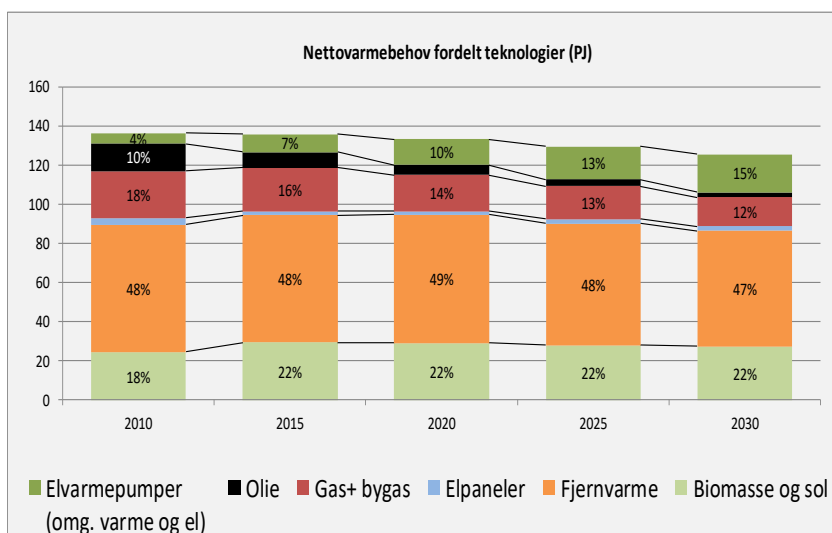
Tabel 14: Renoveringstiltag i boliger

Renoveringstiltag	Baseline	Tiltag 1	Tiltag 2	Tiltag 3
Udskiftning af vinduer	Boligen beholder sin eksisterende isolering, og undlader at energirenovere.	Klasse A	Klasse A+	
Gulv-isolering		50 mm	100 mm	150 mm
Loft/tag-isolering		100 mm	200 mm	300 mm
Ydervæg-isolering		100 mm	200 mm	300 mm
Mekanisk ventilation			-	

8.1.2 Udvikling i varmebehov til boliger

Husholdningerne opvarmer deres boliger med forskellige teknologier og brændsler. Energistyrelsen opgør hvert år husholdningernes samlede nettovarmeforbrug opdelt på forskellige teknologier i Basisfremskrivningen. Nettovarmeforbrug svarer til den mængde energi, som husholdninger reelt bruger på opvarmning. Det vil altså sige, den mængde energi som kommer ud af deres radiatorer, ovne og varmeanlæg. **Figur 53** viser nettovarmebehovet for perioden 2010 til 2015, samt den forventede udvikling mod 2030.

Figur 53: Nettovarmebehov fordelt på teknologier



Kilde: Energistyrelsen, Basisfremskrivning 2017

Overordnet viser figuren, at husholdningernes nettovarmebehov forventes at være faldende frem mod 2030. Dette skyldes til dels, at boliger bliver mere energieffektive – særligt nybyggeri.

Figur 53 viser også, at godt halvdelen af varmebehovet dækkes af fjernvarme, som dermed dækker langt størstedelen af husholdningernes varmebehov. For disse boliger kan energirenovering også lede til et reduceret opvarmningsbehov. Men i modsætningen til de andre opvarmningsteknologier vist i figuren, hører fjernvarme til i kvotesektoren. Og dermed vil energirenoveringer i disse boliger ikke bidrage til at reducere Danmarks fremtidige udledningsforpligtelse i non-ets sektoren.

Derudover viser figuren, at omkring en fjerdedel af husholdninger er opvarmet med grønne teknologier herunder biomasse og sol, el-paneler samt elvarmepumper. Da CO₂-emissionen ved de grønne teknologier er tilnærmelsesvis nul, vil energirenoveringer af disse boliger heller ikke bidrage til den fremtidige reduktionsforpligtelse.

Det er altså kun energirenoveringer i boliger opvarmet med fossile brændsler, som er relevant i en NON-ETS kontekst. I **Figur 53** ses det, at omkring der i 2015 16 procent af husholdningernes nettovarmeforbrug kom fra gas+bygas og 10 procent fra olie.

8.1.3 Potentialet for energibesparelser 2021-2030 i nonETS

Som nævnt ovenfor skyldes en del af faldet husholdningernes nettovarmeforbrug energirenoveringer af eksisterende boliger. Helt konkret vurderer Energistyrelsen, at husholdningernes energirenoveringer vil lede til et årligt energieffektiviseringspotentiale på 1,1 PJ.

Hvilket svarer til et samlet potentiale 11 PJ over perioden 2021-2030. Energistyrelsen regner med at 70 procent af potentialet vil gå til at reducere husholdningernes varmebehov. Det vil sige, at egentlige reduktion i nettovarmebehovet i basisfremskrivningen over perioden på grund af energirenoveringer svarer til 8 PJ over perioden.

Hvis man tager udgangspunkt i overstående fordeling af brændsler, svarer det til, at energirenoveringer vil lede til et emissionsfald svarende til omkring 0,1 mio. ton CO₂ over perioden.

8.1.4 Energibesparelse kan konverteres til øget komfort

Når boligerne energiforbedres skal husholdningerne ikke bruge de samme mængder energi til for at varme boligen op. Det betyder, at husholdningen kan reducere sit energiforbrug og samtidig fastholde tidligere inde-temperatur. Men husholdningen kan også vælge at øge inde-temperaturen, da energirenoveringen har gjort det billigere at varme boligen op. Dette kaldes også for en rebound-effekt. Energistyrelsen vurderer at de resterende 30 procent af potentialet vil gå til den såkaldte rebound-effekt.

Hvis husholdninger øger inde-temperaturen efter at have renoverede deres bolig vil den samlede energibesparelse reduceres i forhold til en situation, hvor husholdningerne fastholder deres tidligere inde-temperatur. I forhold til at bidrage til NON-ETS målsætninger betyder rebound-effekten altså, at den overordnede klimaeffekt af energirenoveringer reduceres. Omvendt antager Klimarådets i deres beregninger af energirenoveringernes potentiale og omkostninger, ikke at der er nogen rebound-effekt.

Dansk Energi har valgt at medregne en rebound-effekt på omkring 10-15 procent. Det svarer til, at eksisterende boliger som før har haft inde temperaturer på under 21 grader, hvorefter de øger deres indetemperaturer til

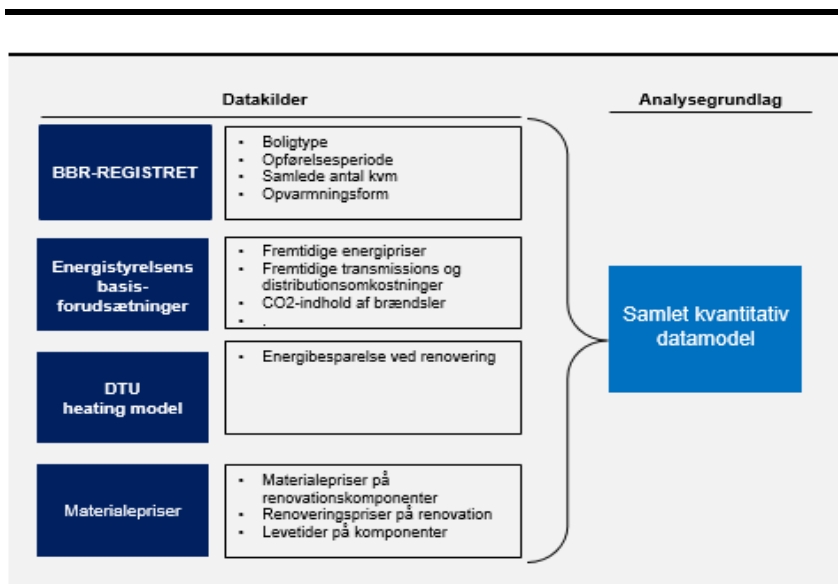
21 grader. I forhold til Energistyrelsens vurdering må 10 til 15 procent anses for at være et konservativ skøn.

8.1.5 Datakilder og analysemodel

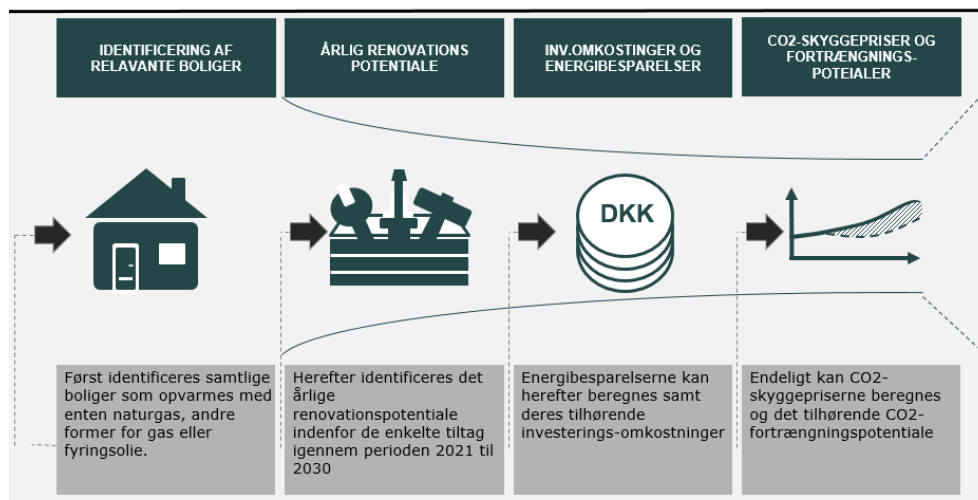
Der er stor forskel på energibesparelspotentialet og dermed effekten af energirenoveringen på tværs af boliger. Derfor tager Dansk Energi udgangspunkt i en såkaldt "Bottom-up" - analysemodel til at beregne CO₂-skyggeprisen ved energirenoveringer. I denne analysemodel tages der udgangspunkt i de enkelte husholdningers energiforbrug og energirenoveringspotentiale. Herefter identificeres samtlige relevante husholdninger, hvorefter deres besparelspotentiale aggregeres til et samlet potentiale for perioden.

Denne analyse tilgang kræver et stort og detaljeret vidensgrundlag. Derfor anvender Dansk Energi flere datakilder, som kombineres i en samlet kvantitativ datamodel. **Figur 54** nedenfor viser datagrundlaget og de tilhørende kilder.

Figur 54: Anvendte datakilder til beregninger af energirenoveringer



Den samlede bottom-up model ses i **Figur 55** nedenfor. Generelt kan analysemodellen beskrives i fire overordnede faser, 1) først identificeres de relevante boliger, 2) herefter findes det af årlige renoveringspotentiale, 3) hvorefter modellen beregner de fremtidige investeringsomkostninger og tilhørende energibesparelser - og endeligt 4) beregnes CO₂-skyggepriserne og fortrængte mængder.

Figur 55: Dansk Energis bottom-up model for CO₂-skyggepriser i energirenovering

1) Identificering af relevante boliger

For at kunne beregne det samlede potentiale for renoveringer blandt de boliger, hvor energirenoveringer kan bidrage til reduktionen af emissioner i non-ets-sektoren, skal man først have identificeret samtlige boliger, som er individuelt opvarmet og anvender fossile brændsler.

Denne viden er tilgængelig gennem BBR-registret. Det danske BBR-register indeholder informationer om samtlige danske boliger. De enkelte boligejere har selv et ansvar for at holde de enkelte informationer om vedkommendes bolig opdateret, hvis der sker opdateringer af boligmassen. Helt konkret tager Dansk Energis beregninger udgangspunkt i BBR-registrets opgørelse af den samlede danske boligmasse i 2014.

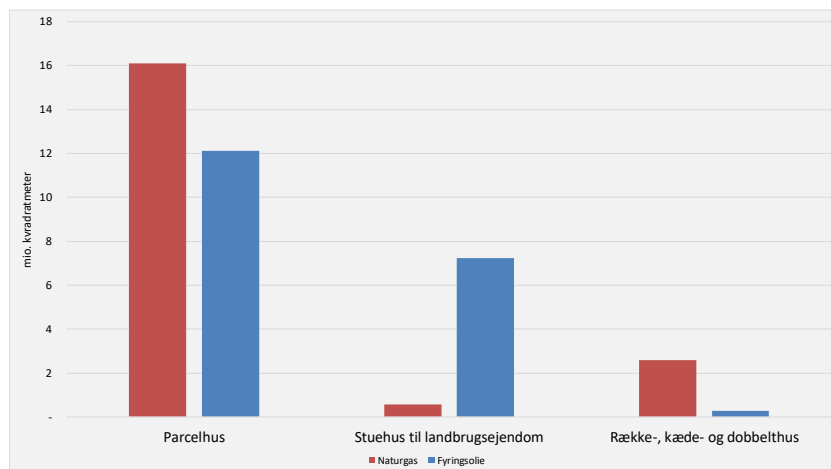
Selvom dette datagrundlag ikke indeholder informationer fra boliger opført efter 2014, er dette ikke et problem for denne analyse. Dette skyldes, at der ikke er nogen af komponentområder som har en så kort levetid, at huse bygget efter 2014 vil være nødsaget til at lave vedligeholdelsesarbejde på deres bolig i perioden 2021 til 2030. Derudover er huse bygget efter 2014 også omfattet af byggereglementets som blev beskrevet ovenfor. Derfor er disse huse særlig energieffektive, hvormed det må antages at der ikke er nogen af det analyserede energirenoveringstiltag som vil forbedre boligens overordnede energieffektivitet.

Fra BBR-registrets indhentes viden om samtlige danske boliger, hvorefter boliger som er opvarmet ved hjælp af central eller decentral varmeproduktion frasorteres. Herefter identificeres samtlige boliger som er opvarmet af fossile brændselsformer. Det vil sige (natur)gas eller fyringsolie. Nogle husholdninger er opgjort til at have flere opvarmingskilder, eksempelvis solcelleanlæg. For disse husholdninger antages følgende varmebidrag fra sekundære varmekilder.

Tabel 15 Andel af samlet varmekonsum fra sekundære varmekilder i individuelt opvarmede områder

Sekundær varmekilde	Andel af samlet varmekonsum (i procent)
Solceller	30
Varmepumpe	30
Biomasse	25

Endeligt frasorteres samtlige boligtyper, som ikke er klassificeret som boliger som værende en-families helårs beboelse. Derfor medtages de tre boligtyper: parcelhuse, stuehuse til landbrugsejendomme samt række-kæde og dobbelthuse. Det endelige potentiale for energirenoveringer som kan reducere non-ets udledninger kan herefter opgøres som et samlet antal kvadratmeter beboelse. **Figur 56** nedenfor viser det samlede antal kvadratmeter beboelse opvarmet af enten gas eller oliefyr fordelt på de tre forskellige boligtyper.

Figur 56: Det samlede antal kvadratmeter bolig som opvarmes ved hjælp af enten gas eller fyringsolie

Figur 56 viser, at langt størstedelen af potentialet for energirenoveringer er blandt parcelhuse. Men der er også en stor andel af landbrugsejendomme som er opvarmet med fyringsolie.

2) Årligt renoveringspotentiale

Da de forskellige renoveringsområder har forskellige levetider, er der stor forskel på det årlige renoveringspotentiale på tværs af de forskellige tiltag. Derfor udregner analysemodellen forskellige renoveringspotentialer i kvadratmeter beboelse for hvert enkelt af de fem renoveringstiltag.

Først tager modellen stilling til hvilke boliger kan forventes at skulle foretage renoveringer indenfor et bestemt tiltag. Eksempelvis antager analysemodellen, at den gennemsnitlige levetid på et tag er på 35 år, hvorefter det bør udskiftes. På baggrund af de forventede levetider indenfor de forskellige renoveringstiltag kan man identificere det samlede årlige renoveringspotentiale.

Tabel 16: Renoveringstiltags forventede levetider og det årlige renoveringspotentiale

Renoveringstiltag	Levetid (i år)	Forventet årligt renoveringspotentiale (i mio. kvm beboelse)
Udskiftning af vinduer	25	1,5
Gulv-isolering	40	0,8
Loft/tag-isolering	35	1
Ydervæg-isolering	40	0,8
Mekanisk ventilation	20	-

Det antages, at andelen af det årlige renoveringspotentiale svarer til den reciprokke af levetiden på den enkelte komponent. Installationen af mekanisk ventilation er ikke et renoveringstiltag som er knyttet til, at en bygningsdel løbende skal forbedres. Derfor kan det ikke antages, at denne type af energirenoveringer følger den samme udskiftningsrytme. Derudover er mekanisk ventilation en energirenoveringstiltag, som vurderes at være mere attraktiv for nyere boliger frem for ældre. Dette skyldes, at boligerne skal have et relativt højt niveau af isolering før den mekaniske ventilation kan være attraktiv. Derfor vurderes det, at 10 procent af boligerne indenfor opførelsesperioden 1990 og frem, vil installere en mekanisk ventilation i perioden 2021 til 2030.

3) Investeringsomkostning og energibesparelser

De årlige renoveringer omregnes til mængde af sparret energi ved hjælp af en større varmeeffektivitetsmodel udviklet af DTU. Denne model udregner de forventede varmebesparelser, målt i kWh pr. kvadratmeter, for de forskellige renoveringstiltag opdelt på boligtyper og opførelsesperiode.

Herefter kan varmebesparelserne monetariseres. Det vil sige at omregne varmebesparelserne fra kWh til kroner. De fremtidige energipriser fås fra Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætningskatalog.

Herefter beregner modellen hvor meget CO₂-udledningen kan forventes at falde på grund af energirenoveringen. Dette gøres ved at gange de forventede brændselsbesparelser med CO₂-indholdet i det respektive brændsel.

Investeringsomkostninger

Analysemodellen tager udgangspunkt i, at energirenoveringer foretages i forlængelse af andre renoveringer. Det vil sige, at investeringsomkostningerne ved energirenovering kun går til de ekstra omkostninger til materiale og arbejdskraft som er forbundet med energirenoveringen.

I **Tabel 17** nedenfor ses de investeringsomkostninger som analysemodellen anvender. Derudover anvendes en rente på 4 procent for samtlige investeringer. Priserne er opgjort uden moms.

Tabel 17: Investeringsomkostninger ved forskellige renoveringstiltag.

Renoveringstiltag	Omkostninger
Udskiftning af vinduer (dkk/m ² vindue areal)	120
Gulv-isolering (dkk/m ² element)	350
Loft/tag-isolering (dkk/m ² element)	50 (plus 1 dkk pr. ekstra mm. element)
Ydervæg-isolering (dkk/m ² element)	200 (plus 7 dkk pr. ekstra mm. element)
Mekanisk ventilation (dkk/m ² bygningsareal)	600

4) CO₂-skyggepriser og tilhørende fortrængningsmængder

Ved at trække de årlige investeringsomkostninger fra energibesparelserne kan man finde den egentlige årlige omkostning – eller fortjeneste – ved energirenoveringerne. Herefter kan de egentlige omkostninger divideres med den reducerede CO₂-emission. På denne måde fås individuelle CO₂ skyggepriser for hver af renoveringstiltagene.

8.2 Biogas eksternaliteter

Produktionen af biogas er forbundet med såkaldte eksternaliteter. Det betyder, at der er en række effekter som har en værdi for samfundet, men som ikke er inkluderet i forbrugerpriserne. Eksternaliteter kan enten være en gevinst eller omkostning. Forurening er et klassisk eksempel på en eksternalitet. Fra et samfundsmæssigt perspektiv, er det vigtigt, at eksternaliteterne indregnes i de samlede produktionsomkostninger. Hvis ikke, vil der ikke blive produceret på det mest hensigtsmæssige niveau.

Overordnet kan eksternaliteterne ved biogasproduktion fordeles i to kategorier. 1) Opstrømsemmissioner (CO₂) fra landbruget og 2) Andre miljøeksternaliteter (ikke-CO₂).

Derudover kan der være række sideeffekter ved biogasproduktionen ud over selve gasproduktionen, som også har en økonomisk værdi. Eksempelvis bliver gødningsværdien af husdyrgødningen højere, efter det har været igennem et biogasanlæg. I modsætningen til eksternaliteter vil denne sideeffekt af sig selv blive indregnet i den privatøkonomiske businesscase omkring et biogasanlæg. Dette skyldes, at den øgede gødningsværdi vil reducere landbrugene behov for at købe ekstra gødning, på grund af gødningens højere værdi.

8.2.1 Opstrømsemmissioner (CO₂) fra landbruget

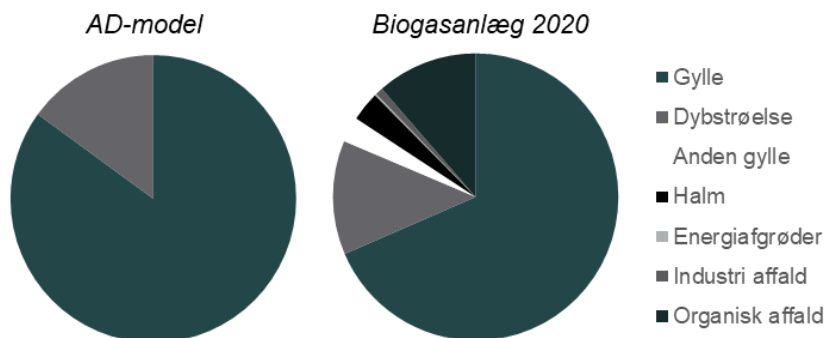
Biomassesammensætningen (inputtet) til biogasanlægget har stor betydning for størrelsen på opstrømsemmissionerne, men også for selve gasproduktionen pr tons input. Dette skyldes, at hver fraktion har forskelligt afgangning- og energipotentialer. For at beregne den samlede opstrømsemmission benyttes følgende værdier for de forskellige fraktioner:

Fraktion	Reduceret udslip (kg CO ₂ gevinst pr tons input)
Kvæggødning ^{a)}	7,9
Svinegødning ^{a)}	15,3
Dybstrøelse ^{b)}	80
Halm ^{b)}	-171
Anden husdyrgødning	11,6
Energiafgrøder ^{b)}	-60
Industri affald ^{c)}	29
Organisk affald ^{c)}	29

Kilde: a) NIRAS (2016), Præsentation til biogasbranchen, Eksternaliteter ved biogas. b) Energistyrelsen (2016), Alternative drivmidler 3.0. c) Fødevarøkonomisk institut, 2002. Samfundsøkonomiske analyse af biogassællesanlæg - med tekniske og selskabsøkonomiske baggrundsanalyser. Der fremgår ikke værdier for andre former for husdyrgødning end fra sving og kvæg. Derfor antager denne analyse at det reducerede udslip fra anden husdyrgødning er et simpelt gennemsnit af de to kvæg og svinegødning

Denne analyse vurderer effekten på opstrømsemmissionerne, produktions-output osv. med udgangspunkt i biogasbranchens forventninger til biomassesammensætningen og produktionsniveau på et fremtidig

biogasanlæg i 2020. Til sammenligning er vist biogas-sammensætningen i Energistyrelsens AD-model (Alternative drivmidler,2016):



Figur 57. viser de forskellige fraktioner som anvendes i hhv. denne analyse og den tidligere Alternative Drivmidler (AD)

I Figur 57 ses det, at langt størstedelen af input i fremtiden stadig forventes at komme fra husdyrgødning. Derudover kommer en stor del fra dybstrøelse samt organisk affald. Tilsammen svarer disse input til 96 procent af det samlede input. Figuren viser også, at AD-modellen kun anvender husdyrgødning og dybstrøelse - og dermed ingen affald. Ud fra de forskellige inputsammensætninger er biogas-produktion (m³ metan pr tons input) samt den negative opstrømmission (kg CO₂ pr GJ input) vist i tabellen nedenfor.

Gasproduktion og opstrømmission	og	AD-model gyllemix (2016)	Biogasanlæg 2020
Produktion metan (m ³ pr tons input)		ca. 18	Ca. 35
Opstrømmission (reduktion kg CO ₂ pr GJ input)		-66	-11

Kilde: Dansk Energi på baggrund af informationer fra Biogasbranchen og Energistyrelsens AD-model.

Med den fremtidige biomassesammensætning finder Dansk Energi en opstrømmissionen svarende til **-11,4 KG CO₂** per GJ input. Tidligere fandt analysen af *Alternative drivmidler* (2016) fra Energistyrelsen at opstrømmissionen fra biogasproduktion svarede til **66 KG CO₂** per GJ input - hvilket må siges at være en relativt stor forskel. Omvendt producere biogasanlægget 2020 næsten dobbelt så meget metan pr tons input end AD-modellen. Konkret forventer Dansk Energi, at det fremtidige biogasanlæg i 2020 kan producere ca. **35 m³** biogas (metan) per tons input. I AD-modellen forventes et output svarende til ca. **18 m³** biogas per tons input. Der er altså en trade-off mellem produktionsstørrelsen og mængden af opstrømmissioner.

Biogassen kan efterfølgende bruges til at fortrænge eksisterende forbrug af fossile brændstoffer - eksempelvis indenfor transport eller opvarmning af boliger. Hvis biogassen anvendes i en biogasbil fortrænges diesel/benzin, hvilket svarer til 74 kg pr GJ. Figuren nedenfor viser, den samlede emissionsnedgang ved anvendelse af biogas i stedet for diesel i transport.

Figur 58. Kilde: Dansk Energi

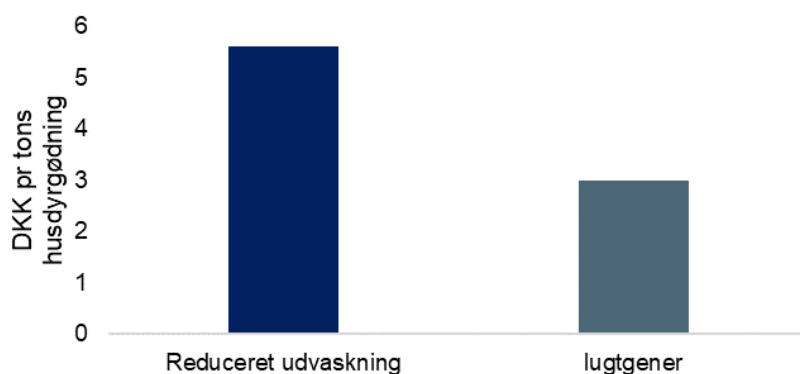


Figuren viser samlede reducerede udslip er fra de to biogasanlæg. Overordnet ligger de samlede reduktioner tilnærmelsesvis på samme niveau, hvor AD-modellen ligger en smule over det fremtidige biogasanlæg. Figuren viser også hvor den samlede reduktion kommer fra. For AD-modellen kommer hovedparten fra reduktionen i opstrømmissioner, hvor det er omvendt for biogasanlægget 2020. Da sidstnævnte producerer næsten dobbelt så meget biogas, kommer størstedelen af reduktionen for fortrængning fra fossilt forbrug.

8.2.2 Andre miljøeksternaliteter (ikke-CO₂)

Udover CO₂-opstrømseffekter er biogasproduktionen også forbundet med en række miljø-eksternaliteter. Helt konkret drejer det sig om **recirkulering af næringsstofferne** – også kaldet reduceret udvaskning - samt **reduktion af lugtgener**.

Figur 59. Værdien af eksternaliteter ved biogasproduktion



Når husdyrgødningen har været igennem et biogasanlæg reduceres lugtgenerne, når den efterfølgende lægges ud på markerne. Den reducerede lugt har en positiv værdi for de borgere, som bor eller opholder sig i nærheden af landområderne, og som ellers vil blive udsat for lugtgenerne fra husdyrgødningen. I denne analyse antages det, at reduktionen af lugtgenerne har en samfundsøkonomisk værdi svarende til 3 DKK per ton husdyrgødning. Denne værdi kommer fra en værdisætning foretaget af NIRAS på vegne af Energistyrelsen i 2017.

Biogasanlægget ændrer også på sammensætningen af næringsstofferne i husdyrgødningen, hvilket reducerer udvaskningen af næringsstoffer, når

gødningen efterfølgende udlægges på markederne. På denne måde reduceres mængden af næringsstoffer som når til ned vandmiljøet. Tidligere er værdien af den reducerede udvaskning blevet værdisat til 5,6 DKK pr. DKK per tons husdyrgødning (NIRAS, 2016)

Størrelsen på miljø-eksternaliteterne – afhænger ligesom opstrømmissionerne - også af biomassesammensætningen. Eksempelvis vil værdien af den reducerede lugt afhænge af andelen af husdyrgødning som anvendes i biogasproduktionen. Jo mindre andel af husdyrgødning som anvendes - desto mindre vil lugtgenerne reduceres. Det samme gælder udvaskningen af udvaskningen af næringsstoffer.

8.3 Elbiler

I bilaget er gennemgået følgende afsnit

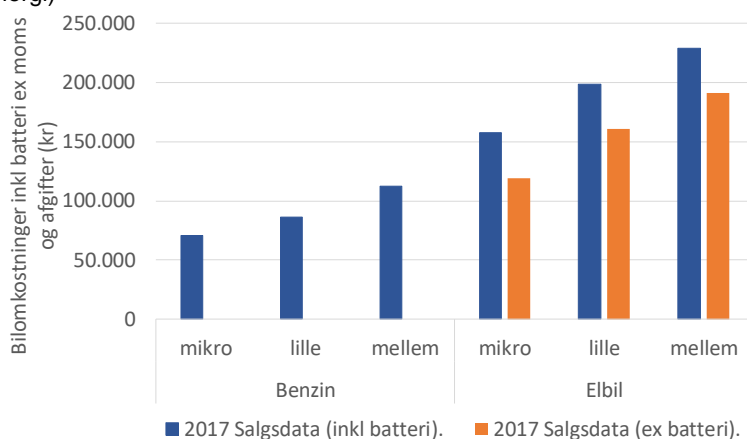
- Anskaffelsespris for elbiler
- Nuværende dansk afgiftsstruktur for elbiler
- Kørselsbehov for elbiler

8.3.1 Anskaffelsespris for elbiler

Dette afsnit fokuserer på bilens anskaffelsespris. Når forbrugeren vælger mellem en elbil eller en almindelig benzinbil, kan forskellen i anskaffelsespris imellem de to typer af biler være afgørende for forbrugers endelige valg.

Anskaffelsesprisen udgøres af bilomkostningen (for elbiler herunder batteriomkostning) samt moms og registreringsafgift. Bilomkostningen for sammenlignelige elbiler og konventionelle biler i hhv. mikro, lille og mellemklassesegmentet er vist i nedenunder.

Figur 60. Bilomkostninger for sammenlignelige el- og benzinbiler (kilde: Dansk Energi)



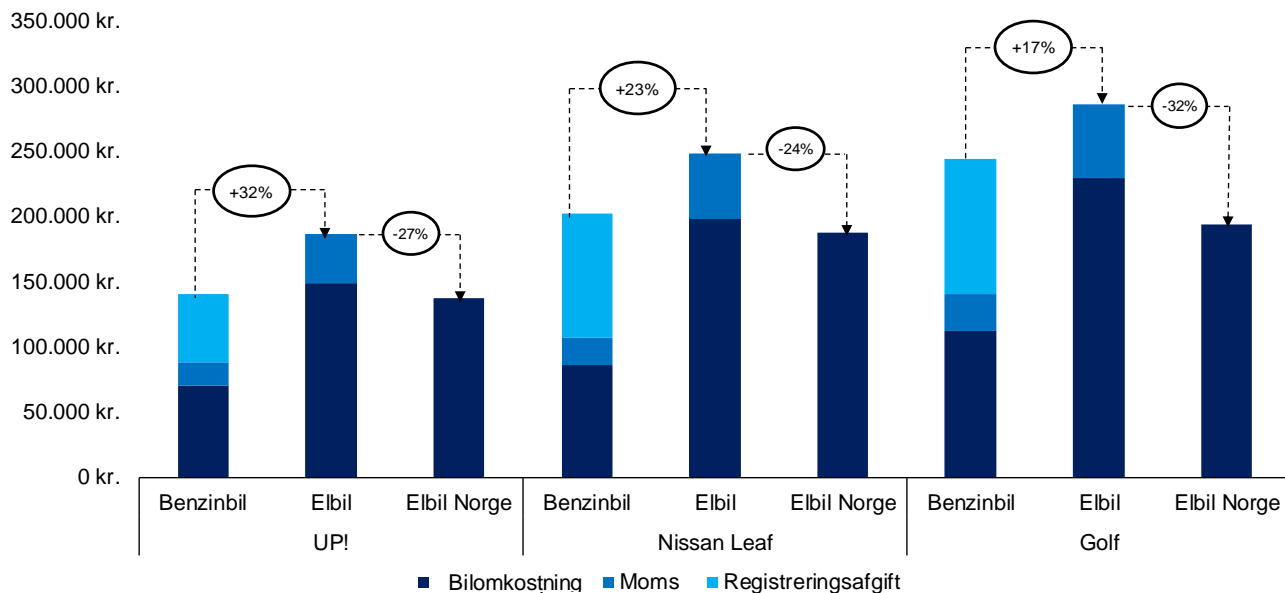
Elbiler uden batteri er dyrere end den sammenlignelige fossile bil, hvilket skyldes de fortsat fremstilles i lavt antal end tilsvarende benzinbiler.

Benzinbiler er billigere selv med afgifter

En del af forskellen i bilomkostning fra elbiler til fossile biler modvirkes af at fossile biler betaler mere registreringsafgift end elbiler. Figur 61 viser at elbiler i dag stort set ikke betaler registreringsafgift i Danmark, men anskaffelsesprisen (med afgifter og moms) er alligevel ca. 15-35% højere end tilsvarende fossile biler. Prisforskellen i procent er størst for mikroklassebilen og omvendt mindst blandt mellemklassebilen.

Figur 61 Prisforskelle mellem el- og benzinbiler⁴¹ i Danmark 2017 og pris for tilsvarende elbil i Norge 2017.

Kilde: Dansk Energi på baggrund af informationer fra forhandlernes hjemmesider⁴². Elbiler er vist med 25 kWh batteri. Dansk registreringsafgifter er beregnet i henhold til den politiske aftale d. 21. september 2017.



Stor forskel i prisforhold mellem el- og benzinbiler i Danmark og Norge

Udviklingen i antal elbiler i Norge siden 2012 (jf **Figur 42**) viser at gode rammevilkår⁴³ kan drive salget af elbiler, på trods af et begrænset antal elbilmodeller og batterirækkevidde.

Figur 61 viser at prisforholdet i anskaffelsespris inkl. moms og afgifter mellem elbiler og tilsvarende benzinbiler er betydeligt mere favorabelt i elbilers favør i Norge end i Danmark, og dette er en væsentlig forklaring på hvorfor der sælges flere elbiler i Norge end i Danmark. Den samlede anskaffelsespris for elbiler er i dag ca. 25-30% billigere i Norge end i Danmark, hvilket både skyldes momsfratagelse men også at bilomkostning er lavere i Norge, altså den samme elbil er billigere⁴⁴ i Norge end i Danmark – hvilket kan forklares med at salgstat og hermed konkurrence på elbiler er højere i Norge.

Historien viser, at danskerne kan forvente lavere priser for elbiler, alene ved at der kommer gang i det danske elbilsalg. Desuden viser historien at

⁴¹ Sammenligning af de mest populære bilmodeller på det danske bilmarked, hvor der både findes en el- og benzinversion. Helt konkret viser figuren tre bilmodeller, som hver kan repræsentere forskellige bilklasser, henholdsvis mikro-, mini- og mellemklassebiler.

⁴² Som sammenligningsgrundlag for E-UP! anvendes UP! High-up. Tilsvarende sammenlignes Nissan Leaf med en Nissan Juke. E-Golf sammenlignes med en Golf Comfortline. Det vurderes, at disse sammenligninger er hensigtsmæssige i forhold til bilernes motorevne, køreegenskaber og generelle udstyrspakker.

⁴³ I Norge har salget af elbil igennem de seneste år gået strygende. Her er elbilers markedsandel gået fra 0 procent i 2010 til ca. 20 procent i 2017. Norge har tilrettet sine offentlige rammevilkår for at motivere salget af elbiler i en positiv retning, samt meldt ud at salget af fossile biler bliver forbudt fra år 2025. Eksempelvis slipper elbiler for at betale bestemte parkerings- og vejafgifter. Desuden kan elbiler anvende veje som ellers kun er forbeholdt busser. Men den mest gunstige rammevilkår er, at norske elbiler er fritaget for at betale registreringsafgift og moms. Dette har været kraftigt medvirkende til at udvikle og modne det norske marked for elbiler.

⁴⁴ ca. 5-20% billigere i Norge end i Danmark, disse %-satser fremgår ikke af figuren

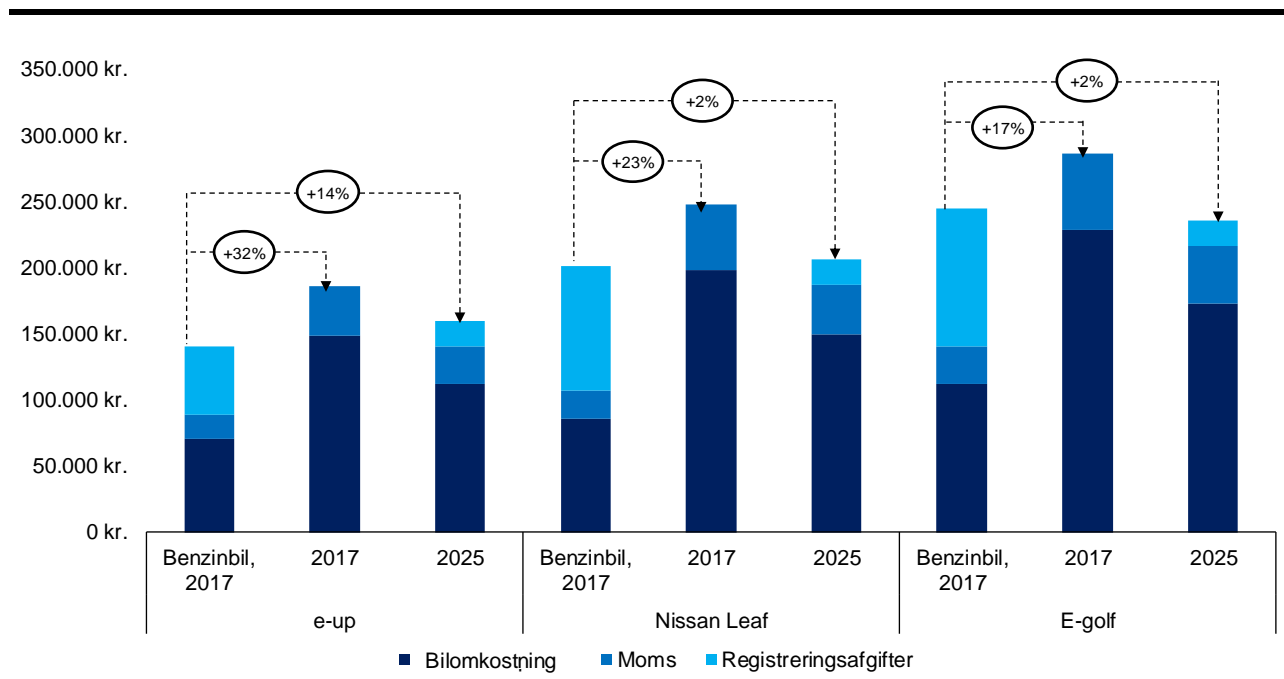
prisforholdet i anskaffelsespris skal forbedres hvis man på kort sigt ønsker større elbilsalg i Danmark.

Prisforholdet mellem el- og benzinbiler forventes forbedres i fremtiden

På **Figur 62** er vist forventet prisfald⁴⁵ på bilomkostningen af elbiler frem til 2025, samt fremtidig moms og registreringsafgift i 2025. Figuren viser, at prisforholdet mellem benzinbilen og elbilen forbedres i 2025, således at anskaffelsesprisen på lille- og mellemklasse-elbilen er på samme niveau som benzinbilen. Her tages der ikke stilling til eventuelle prisændringer for benzinbilen.

Figur 62 Prisforskelle i Danmark mellem el- og benzinbiler i 2017 og forventet elbilpris i 2025.

Kilde: 2017-data er identisk med Figur 61. Elbiler er vist med 25 kWh batteri. I 2025 forudsættes Middel elbilprisscenariet.



Frem til 2022 vil elbiler i Danmark få indfasnet registreringsafgift (se detaljer i Bilag 8.3). Den nye aftale om registreringsafgift vil i kombination med billigere elbiler forventelig svare til at mikro til mellemklasseelbiler betaler tæt på laveste registreringsafgift dvs. ca. 17.000 kr. Dyrere elbiler vil derimod opleve en markant stigning i registreringsafgift ved indfasningen.

Alt andet lige vil en stigende registreringsafgift på elbiler modvirke at konkurrenceforholdet til benzinbiler bliver forbedret, men det er naturligvis afgørende hvor høj afgiften bliver for elbilerne i fremtiden. **Figur 62** viser at hvis elbilerne var afgiftsritaget i 2025 ville alle tre modeller være billigere i anskaffelsespris (inkl moms og afgift) end benzinbilen i 2017.

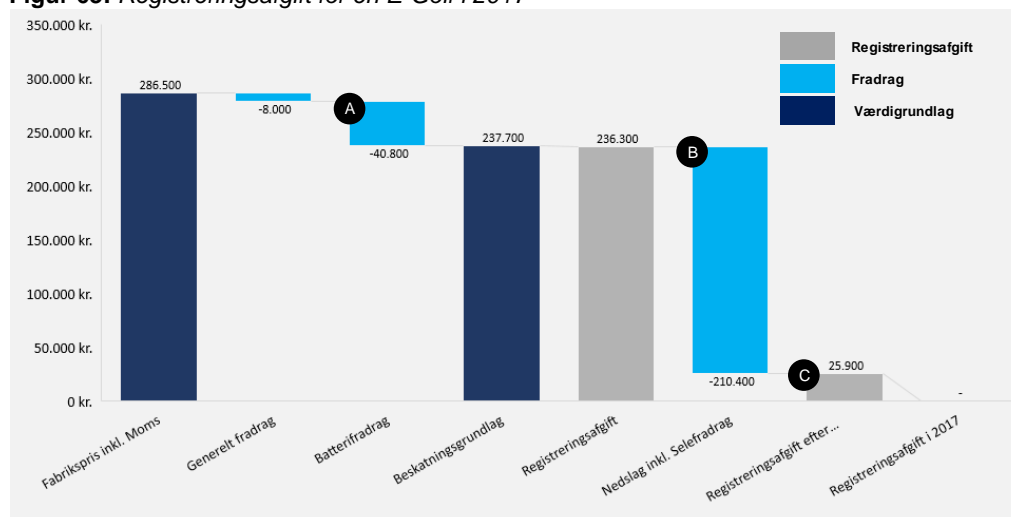
⁴⁵ Der er anvendt prisudviklingen i Middel elbilpris scenariet frem til 2025. (jf. kapitel 7.1.2)

8.3.2 Nuværende dansk afgiftsstruktur for elbiler

I foråret 2017 besluttede folkettinget at lempe på registreringsafgiften for elbiler. Formålet med lovændringen var at fremme salget af elbiler i Danmark, som nærmest forsvandt i 2016 efter at tidligere afgiftsfritagelse af elbiler ophørte. Helt konkret betyder lempelsen, at registreringsafgiften for elbiler reduceres til 20 procent af fulde registreringsafgift i 2017 frem mod 100 procent i 2022. Derudover indgik regeringen og Dansk Folkeparti en politisk aftale d. 21 september 2017 som ændre registreringsafgiften for samtlige biler. Overordnet reducere den nye aftale registreringsafgiften for benzinbiler, og dermed reducerer aftalen elbilernes indbyrdes konkurrenceforhold med benzinbilerne.

Nedenfor viser **Figur 63**, hvordan registreringsafgiften udregnes for en elbil i Danmark i 2017 på baggrund af den seneste lovgivning og aftale. Her tages der udgangspunkt i en E-Golf fra sommeren 2017. Nedenstående priseksempel er udregnet med udgangspunkt i den nye registreringsafgift som regeringen fremlagde d. 21. september 2017. Aftalen er dog endnu ikke vedtaget i folkettinget.

Figur 63: Registreringsafgift for en E-Golf i 2017



Kilde: Dansk Energi på baggrund af Bekendtgørelsen af lov om registreringsafgift for motorkøretøjer m.v. Pkt A, B og C viser de særlige ændringer som blev vedtaget i forbindelse med lempelsen af registreringsafgiften for elbiler. E-Golf har 132 HK og bilens pris baserer sig på listepriiser trukket fra VW's hjemmeside i august måned 2017. For en dybdegående gennemgang lovområdet for registreringsafgifter henvises til Bekendtgørelsen af lov om registreringsafgift for motorkøretøjer m.v.

Først og fremmest pålægges bilen en generel moms svarende til 25 procent. Momsen lægges til forhandlerprisen - hvilket svarer til bilens endelige salgspris fratrukket moms og registreringsafgift. Herefter fratrækkes en fradrag som skal fremme sikre biler. Helt konkret gives der 8.000 DKK i fradrag, hvis bilmodellen har fået 5 stjerner i Euro NCAP crash test. Det har Golfen. **(A)** Derudover fratrækkes et fradrag svarende til DKK 1.700 pr. kWh batteri. Dette fradrag er også en del af den seneste lempelse af registreringsafgiften for elbiler. I det konkrete eksempel har en E-Golf et batteri på 24 kWh, hvilket svarer til et samlet **batterifradrag** på 40.800 DKK. Ved at fratække det generelle- og batterifradraget fra bilens forhandlerværdi inkl. moms, fås beskatningsgrundlaget. Som bruges til udregning af registreringsafgiften. Efter fradrag har E-Golfen et beskatningsgrundlag på 237.700 DKK.

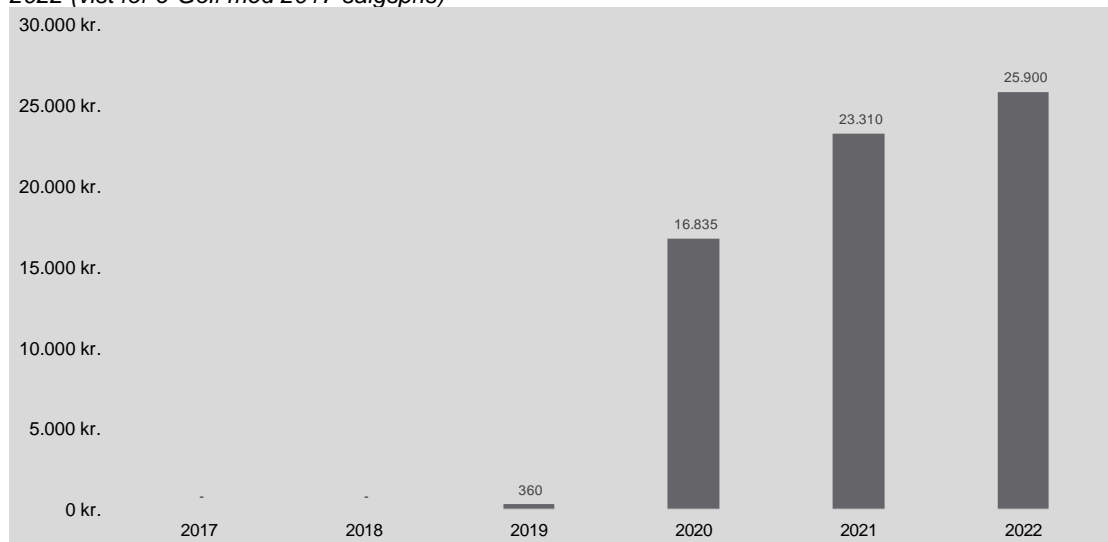
Som en del af den nye politiske aftale udregnes registreringsafgiften ved at tage 85 procent af de første 185.000 DKK og 150 procent af det resterende beskatningsgrundlag. **Der gives dog en række nedslag i registreringsafgiften, som skal være med til at fremme brændselseffektive og sikre biler.**

(B) Først og fremmest gives der et nedslag i registreringsafgiften baseret på, hvor brændstofeffektiv bilen er. Helt konkret tages der udgangspunkt i, hvor langt bilen kører på en liter brændstof. For hver kilometer over 20 km/L gives et **nedslag** på 4.000 DKK. E-Golfens energiforbrug i watt pr kilometer kan omregnes til km/L. Dette svarer til, at E-golfen kører omkring 70 km pr. liter. Derudover gives der et nedslag på 1000 DKK pr sikkerhedsselealarm, som installeres i bilen. Dog maksimalt til tre seler. Samlet set, gives der et nedslag til E-Golfen svarende til 210.400 DKK.

Dermed fås den endelige registreringsafgift for E-Golfen på 25.900 DKK. **(C)** En af de største del af den nye lovgivning for elbiler er, at registreringsafgiften i 2017 reduceres til 20 procent af den fulde værdi. Herefter tilbageindfases den trinvist frem mod 2022. Derudover fratrækkes 10.000 DKK yderligere fra den reducerede registreringsafgift i de tre første år af indfasningen, som et generelt bundfradrag.

I **Figur 64** ses, hvordan den reelle registreringsafgift for E-Golfen vil udvikle sig frem mod 2022. I 2017 de yderligere reduktioner af registreringsafgiften for elbiler, at registreringsafgiften for E-Golfen reduceres til 0 DKK.

Figur 64. *Fuld tilbageindfasning af registreringsafgiften for elbil frem mod 2022 (vist for e-Golf med 2017-salgpris)*



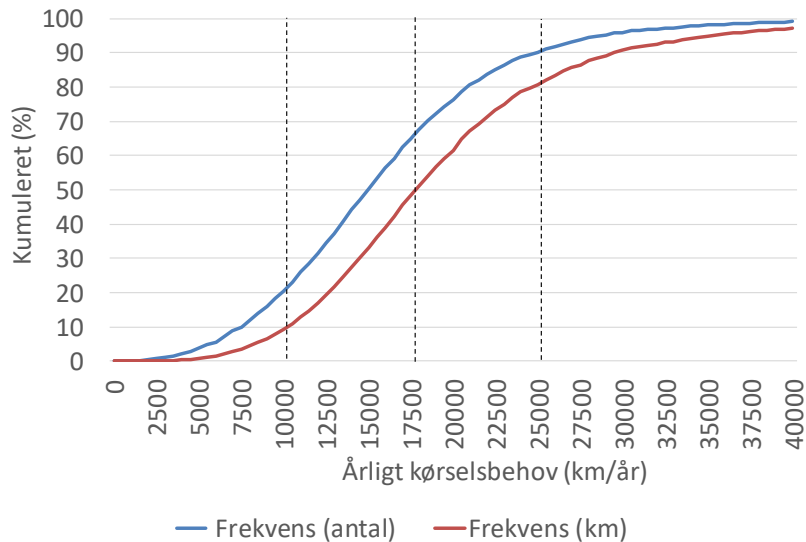
Kilde: Dansk Energi på baggrund af Bekendtgørelsen af lov om registreringsafgift for motorkøretøjer m.v.

Dermed vil den fulde registreringsafgift være fuldt tilbageindfaset i 2022. For E-Golfen betyder dette, at registreringsafgiften stiger fra 0 til 25.900 DKK.

8.3.3 Kørselsbehov for personbiler og tung transport

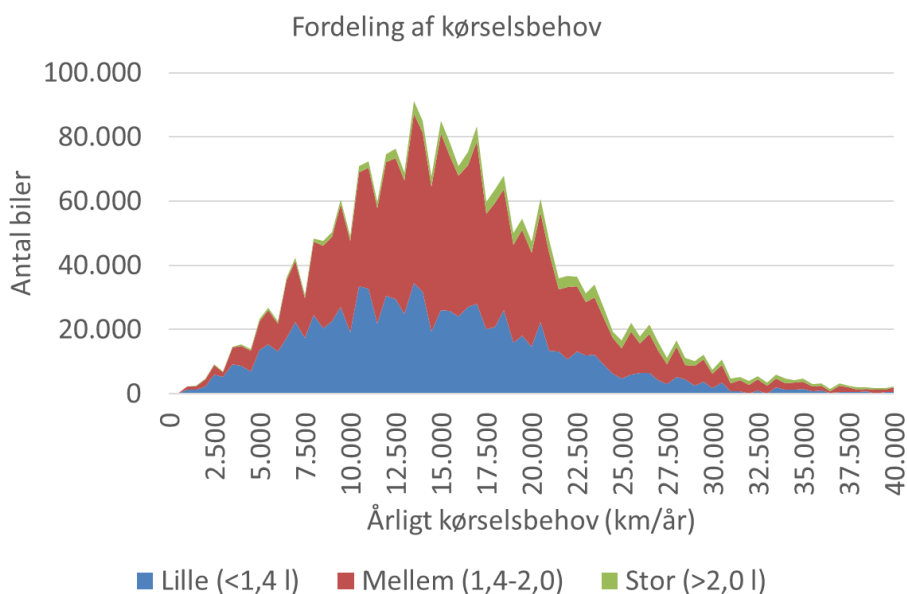
På **Figur 65** er vist frekvens af årlige kørselsbehov for personbiler:

Figur 65 Fordeling af årligt kørselsbehov. Et gennemsnitlig kørselsbehov er ca. 17.500 km/år, mens en gennemsnitlig bil kører ca. 15.000 km/år. Desuden ses det at ca. 20% af det kumulerede årlige kørselsbehov udgøres af kørselsbehov som er over 25.000 km/år, men det er kun ca. 10% af bilerne der kører over 25.000 km/år. (kilde: DTU Transport/Energinet.dk)



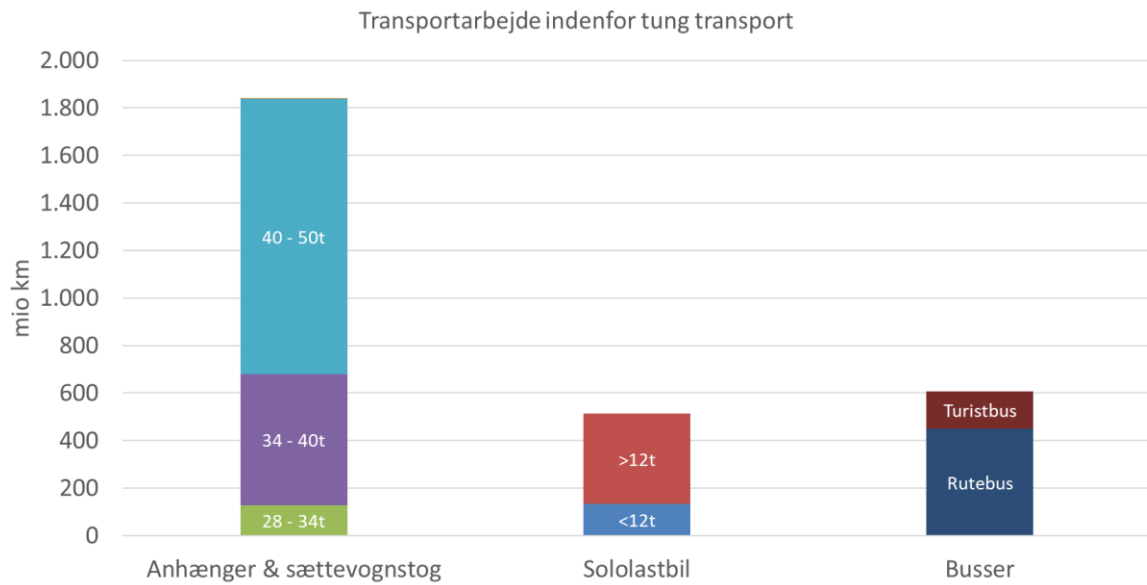
På **Figur 66** er kørselsbehovet for personbiler opdelt på bilstørrelse:

Figur 66. Kørselsbehov for personbiler opdelt på bilsegmenter: lille, mellem og stor bil udgør hhv. ca. 35%, 55% og 10% af samlet transportbehov. (Kilde: DTU Transport/Energinet.dk)



Transportarbejdet for tung transport opdelt på segmenter ses på Figur 67:

Figur 67. Tung transport i Danmark opdelt på transportarbejde (kilde: Energistyrelsen 2017, baggrundsdata til Basisfremskrivning 2017)



8.4 Erhverv

8.4.1 Aggregering af slutanvendelser

De aggregerede slutanvendelser anvendt i denne analyse, som de fremgår af **Figur 20**, kan nedbrydes yderligere i konkrete slutanvendelser. Opdelingen baseres på tidligere kortlægninger af slutenergiforbrug og senest anvendt i den nyligt offentliggjorte erhvervskortlægning fra Energistyrelsen.

En største gruppe på tværs af både produktionserhverv og handel- og service, øvrig proces, omfatter slutanvendelser der hovedsageligt består af lavtemperatur opvarmning (< 150° C). Besparelspotentialerne udgøres i denne kategori af såvel mere effektiv anvendelse af energi ved blandt andet efterisolering af tekniske installationer, bedre overvågning og styring af anlæggene samt bedre intern genanvendelse af overskudsvarme eventuelt med tilkobling af varmepumpe. Derudover forventes også, at en stor del energiforbruget i denne kategori, grundet lave driftstemperaturer, kan konverteres til varmepumper.

Tabel 18. Slutnvanvendelser i energieffektiviseringspotentialer i erhverv

Aggregeret slutanvendelse	Slutanvendelse
Arbejdskørsel	Arbejdskørsel
Forsyningsanlæg (el)	Belysning
	Pumpning
	Køl/frys (ekskl. rumkøling)
	Blæsere
	Trykluft
It og elektronik	It og anden elektronik
Kedel- og konverteringstab	Konverterings- og nettab
Komfort køling og ventilation (HVAC)	Rumkøling
	Rumventilation
Produktionsmaskiner	Hydraulik
	Øvrige elmotorer
	Anden elanvendelse
Rumvarme	Rumvarme
Øvrig proces	Opvarmning/kogning
	Tørring
	Inddampning
	Destillation
	Anden procesvarme op til 150 °C
	Varmepumpers energiforbrug
Tung proces	Brænding/sintring
	Smeltning/støbning
	Anden procesvarme over 150 °C

Tilsvarende gør sig gældende for kategorien kedel- og konverteringstab. Dog vil størstedelen af besparelserne i denne kategori opnås ved optimering af anlæg samt teknisk isolering. Landbruget udgør en stor del af dette besparelspotentiale hvorfor særligt konverteringer fra ældre oliefyr mv. kan

medføre besparelser som følge af bedre anlægsdrift samt potentil gevinst ved konvertering til varmepumper og eller biobrændsel, i særdeleshed halm, hvilket i praksis vil være gældende for aktive langbrug grundet billig adgang til brændsel.

Besparelspotentialerne for kategorien rumvarme udgøres mestendels som mere effektiv anvendelse af energi. For rumvarme udtrykt ved mindsket varmetab, mere effekt varmevending af aftræksluft i ventilationsanlæg mv. Dele af dette potentiale, særligt som følge af klimaskærmsforbedringer, kan potentielt opnås ved konvertering fra brændselskedel til varmepumper.

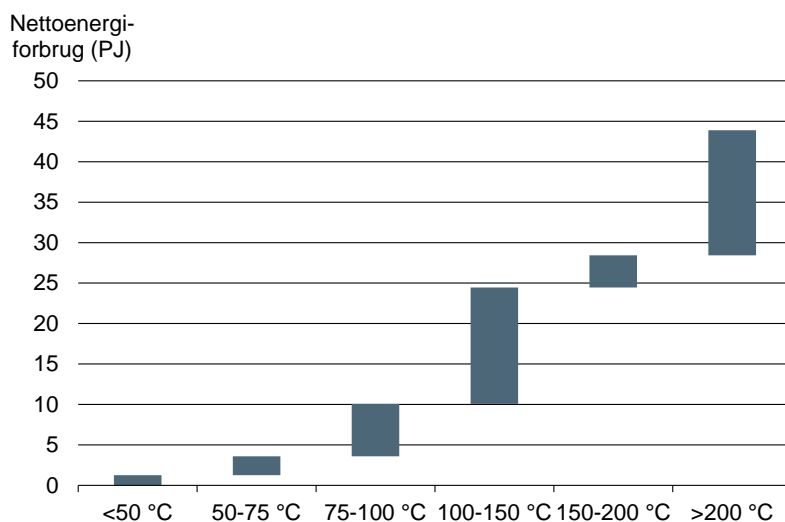
I forhold til virksomheders interne arbejdskørsel opnås besparelspotentialet særligt i landbrug og fiskeri. Her vil opnås besparelser ved effektivisering og udskiftning af maskiner (traktorer, mejetærskere mv.) samt introduktion af hybridmotorer i fiskeriet. Derudover vil også en del af dette forbrug kunne reduceres ved konvertering til eldrevne køretøjer (palleløftere, trucks, mv.) samt overgang til transportbånd hvor muligt. Dette i særdeleshed hvor det kræves, at der tages højde for støj og luftforurening.

8.4.2 Varmepumper i fremstillingsvirksomhed

Fordeling af varmebehov på temperaturintervaller

I boksen nedenunder ses det at nettoforbruges er ca. 45 PJ. Der ligger en betydelig del af dette varmebehov som koge-, inddampning- og tørreprocesser i intervallet fra 100-150 °C (samt 75-100 °C og 150-200 °C), hvilket gør det relevant for højtemperatur varmepumper at kunne forsyne procesbehov ved dette temperaturinterval. Hybridløsninger med højtemperatur varmepumper og gaskedler kan også være relevante at undersøge.

Nettoenergiforbruget i fremstillingsvirksomheder (kilde: Energistyrelsen) fordelt på temperaturintervaller er vist på grafen nedenunder:



Potentialet for højtemperatur varmepumper

I rapporten "Potentialet for højtemperatur-varmepumper i industrien" (Weel & Sandvig ApS, 2013) er det tekniske potentiale beregnet på baggrund af mulighederne i en række industrier i Danmark.

Delta T °C	Temperaturbehov °C	COP-værdi	Varmelevering TJ/år	Elforbrug GWh/år
20	100	11,2	4.543	113
	180	13,6	172	4
40	100	5,6	2.743	136
	180	6,8	338	14
70	100	3,2	7.163	622
	180	3,9	5.109	364
Sum			20.068	1.253

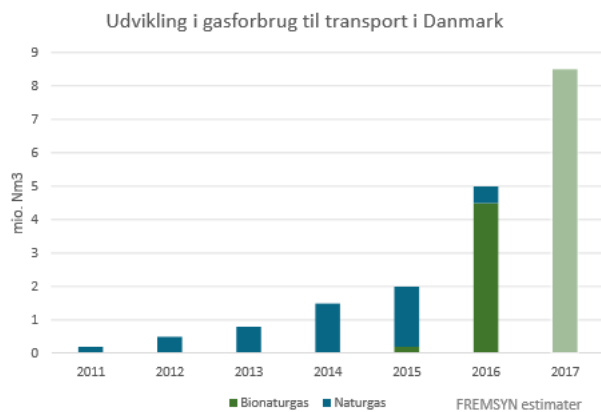
Overslag over elforbruget til højtemperatur-varmepumper på 0,1 MW eller større, som dækker det opgjorte potentiale (Weel & Sandvig ApS, 2013). Temperaturbehov ved 100 C °er fx kogning mens ved 180 °C er fx tørreprocesser.

Den maksimale varmelivering fra store varmepumper i industrien er opgjort til ca. 20 PJ/år. Den vægtede COP-værdi er ca. 4,5.

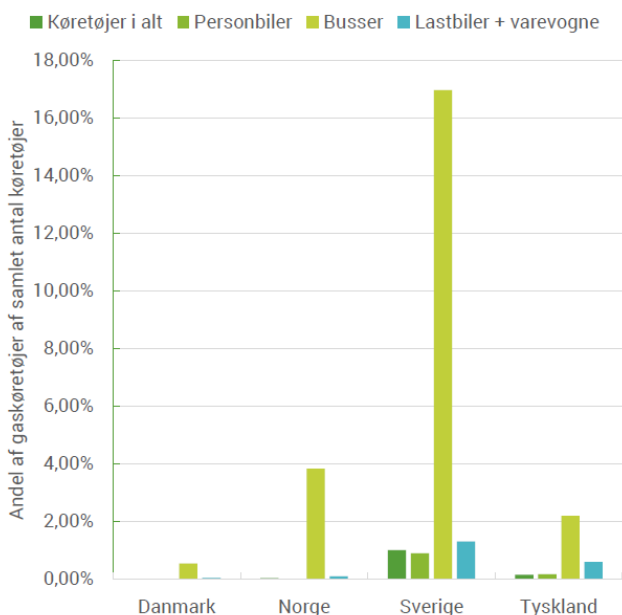
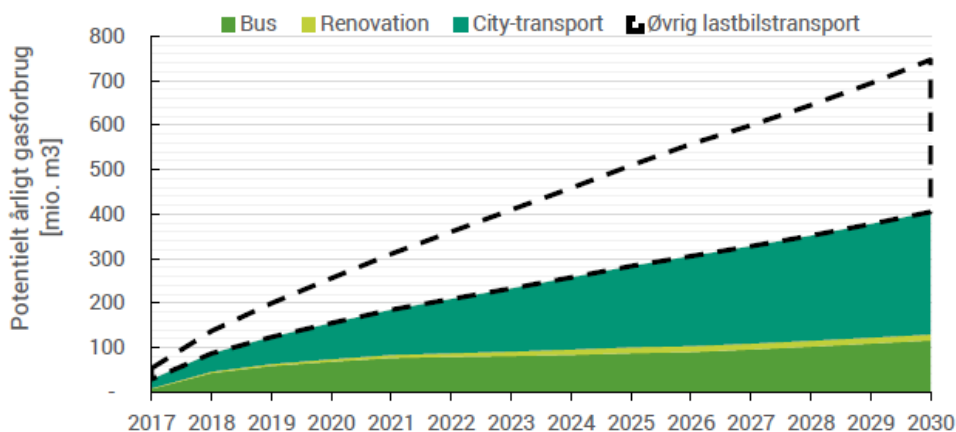
8.5 Gas til transport

8.5.1 Forbrug af gas til transport

Figur 68. Udvikling i gasforbrug til transport i Danmark (kilde: Fremsyn, https://gas2move.dk/images/glostrup2017/knud_boesgaard_fremsyn.pdf)



Figur 69. (øverst): Estimer for 2030-potentiale for gas i transport. (nederst): Gas i transport i Danmark og nabolande (Fremsyn 2017)



8.5.2 Gasteknologier til køretøjer

Table 19. (øverst) Vurdering af teknisk-økonomisk egnethed for kombinationer af brændsler og motorer. (nederst): gas-andele i forskellige typer motorer (kilde: Chalmers 2017).

Transport Mode	Size	Distance range	Fuel							
			Diesel	Petrol	Marine fuel /Heavy oil	CNG		LNG/LBG		
						bi-fuel (Petrol/CNG)	CNG	dual fuel (CNG/LNG/LBG/diesel)	LNG/LBG	
			Thermodynamic cycle							
			Diesel	Otto	Diesel	Otto	Otto	Diesel	Otto	
Specific energy (MJ/kg)										
			43-46	43-47	43-47	43-47/48-54	48-54	43-46/48-54	48-54	
Passenger car and LDV	Light/Medium/Heavy	Short/Medium								
Bus	Light/Medium/Heavy	Short/Medium/Long								
Truck	Light	Short								
	Medium	Short/Medium								
	Heavy	Short								
		Medium								
Ships	Light/Medium/Heavy	Short/Medium/Long								

Techno-economically feasible and commercially available
 Technically feasible, but high engine and fuel system cost, and large fuel tank and space requirements hampers its economic feasibility
 Techno-economically infeasible - high engine and fuel system cost, large fuel tank and space requirements

CNG/LNG in bi-fuel and dedicated cars and light duty vehicles			
Engine characteristics	Otto (spark ignited)		
	Dedicated	Bi-fuel	
Fuel injection	Indirect (air-fuel premix)	Indirect (air-fuel premix)	
Engine efficiency	About 5-10% less efficient	About less efficient in CNG mode	
Petrol replacement rate	100%	100%	
Run on	CNG	CNG/Petrol	
Can run on petrol only?	No	Yes	
Retrofit opportunities	Yes	Yes	
Noise level	Less than petrol	Less than petrol in CNG mode	
CNG/LNG in dedicated and dual fuel busses and trucks			
Engine characteristics	Otto (spark ignited)	Diesel (compressed ignited)	
	Dedicated	Dual	High pressure direct injection(HPDI)
Fuel injection	Indirect (air-fuel premix)	Indirect (air-fuel premix)	Direct
Engine efficiency	About 17% less efficient	Similar to diesel	Similar to diesel
Diesel replacement rate	100%	50-60%	90-95%
Run on	CNG/LNG	CNG/LNG	LNG
Can run on diesel only?	No	Yes	No
Retrofit opportunities	No	Yes	No
Noise level	Less than diesel by about 5 db	Slightly less than diesel	Similar to diesel

9 Referencer

BF2017	Basisfremskrivning 2017, se (Energistyrelsen 2017a)
Bloomberg 2017	Bloomberg, New Energy Finance, https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-04-26/the-cheap-energy-revolution-is-here-and-coal-won-t-cut-it
Carbone 2016	Carbone, "The Electric Highway – an innovative project to abate CO2 emissions in heavy-goods transport", 2016
Chalmers 2017	Chalmers University, "A state-of-the-art review on the development of CNG/LNG infrastructure and natural gas vehicles (NGV)", rapport fra projektet Future Gas, 2017.
COWI 2014	COWI (2014) på vegne af Energistyrelsen, "Rammevilkår for gas i tung vejtransport", rapport
COWI 2015	COWI, Kortlægning af energisparende potentialer i erhvervslivet, 2015
DGC 2013	Dansk Gasteknisk Center (DGC), "Analyse af gasforbruget i Danmarks erhverv og industri", 2013
Dansk Energi 2015	Dansk Energi, "Gassystemets fremtid og udfasning af naturgas", 2015
Dansk Energi 2016	Dansk Energi, Kommercialisering af brintteknologier, "Brint i fremtidens energisystem", 2016
Dansk Energi 2017a	Dansk Energi, "Elektrificeringspotentialer og bidrag til klimamål", Januar 2017
Dansk Energi 2017b	Dansk Energi, "Effekt af elforbrug på CO2-udledning", Januar 2017
DØR 2015	Det Økologiske Råd (2015), "Biogas – Lettere klimabelastning fra tung transport", rapport
EA Energianalyse 2016	EA Energianalyse, "Biogas og andre VE brændstoffer til tung transport", December 2016
Energifonden 2017	Energifonden, "Bygningers rolle i den grønne omstilling", rapport, 2017
Energistyrelsen 2014	Den fremtidige anvendelse af gasinfrastrukturen, bilag 5
Energistyrelsen 2016	Energistyrelsen, Beregningsgrundlag Varmepumperejseholdets Årsrapport 2016, data fra specialkonsulent Jørgen Risom
Energistyrelsen 2017a	Energistyrelsen, "Basisfremskrivning 2017" (BF2017) https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/basisshyfremskrivninger
Energistyrelsen 2017b	"Beregningsforudsætninger for samfundsøkonomiske analyser" (opdatering 15. august 2017)
Fremsyn 2017	Fremsyn på vegne af E.on, HMN Naturgas, NGF Nature Energy, DGD, "Biogas til tung transport 2020 – potentialet for udrulning af biogas til tung transport", 2017
Future Gas, 2017	Future Gas, 2017, "Danish natural gas utilisation today"
Niras 2016	Niras (2016), Præsentation til biogasbranchen, Eksternaliteter ved biogas
Viegand & Maagøe 2017	Viegand & Maagøe, Estimat for energisparepotentiale udarbejdet til Dansk Energi, 2017
Weel & Sandvig ApS, 2013	Weel & Sandvig ApS, "Potentialet for højtemperatur-varmepumper i industrien", 2013



DANSK ENERGI
VODROFFSVEJ 59
DK-1900 FREDERIKSBERG C
DENMARK

+45 3530 0400
WWW.DANSKENERGI.DK
DE@DANSKENERGI.DK
