



ANALYSE NR. 25 | 24. JANUAR 2017

---

# Elektrificeringspotentialer og bidrag til klimamål

---

Analyse af potentialer for elektrificering indenfor forskellige sektorer i Danmark og hvordan dette kan bidrage til at reducere CO<sub>2</sub> udenfor kvotesektoren frem mod 2030.

**Publikationen**

Elektrificeringspotentialer og bidrag til klimamål  
24. januar 2017.

**Kontaktinformation**

Morten Stryg  
mst@danskeenergi.dk  
Telefon +45 35300489

Karsten Capion  
kac@danskeenergi.dk  
Telefon +45 35300487

---

**Disclaimer**

Dansk Energi vil ikke kunne gøres ansvarlig for økonomiske tab af nogen art som følge af brug af information eller data behandlet i denne rapport.



## Indhold

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Resumé</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Formål</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1      | Formål med analysen.....  | 7         |
| 2.2      | Læsevejledning.....   | 7         |
| <b>3</b> | <b>Indledning</b>   | <b>8</b>  |
| 3.1      | Elektrificeringens bidrag til fremtidens elforbrug og grøn omstilling ..... | 8         |
| 3.2      | CO <sub>2</sub> udledninger i kvote og ikke-kvotesektorerne .....           | 9         |
| <b>4</b> | <b>Potentialer for elektrificering</b>                                      | <b>14</b> |
| 4.1      | Metode.....   | 15        |
| 4.2      | Elforbrug til elektrificering.....  | 16        |
| 4.3      | Scenarier og salgstal for varmepumper og elbiler.....                       | 18        |
| 4.3.1    | Individuelle varmepumper.....   | 18        |
| 4.3.2    | Store varmepumper til fjernvarme.....                                       | 20        |
| 4.3.3    | Elbiler.....  | 22        |
| 4.3.4    | Delkonklusion .....   | 24        |
| <b>5</b> | <b>CO<sub>2</sub>-reduktion fra elektrificering</b>                         | <b>25</b> |
| 5.1      | CO <sub>2</sub> -fortrængning fra nyt elforbrug.....                        | 25        |
| 5.2      | CO <sub>2</sub> -fortrængning udenfor kvotesektor 2021-2030 .....           | 27        |
| 5.3      | CO <sub>2</sub> -effekt i kvotesektoren ved elektrificering .....           | 30        |
| 5.4      | Samlet effekt på CO <sub>2</sub> udledninger.....                           | 32        |
| <b>6</b> | <b>Bilag</b>  | <b>33</b> |
| 6.1      | Antagelser for elektrificeringskategorier .....                             | 33        |
| <b>7</b> | <b>Referencer</b>   | <b>39</b> |

# 1 Resumé

---

En af de centrale udfordringer for dansk klimapolitik frem mod 2030 bliver at reducere udledninger udenfor kvotesektoren (non-ETS), som i dag primært består af fossilt brændselsforbrug i mindre motorer og kedler i transportsektoren, industri, i decentrale fjernvarmeområder og til opvarmning i huse udenfor fjernvarmeområder samt emissioner fra landbruget. Dette notat afdækker potentialer og mulige indfasningsforløb for elektrificering i Danmark indenfor transport og opvarmning. På den baggrund estimeres bidraget fra elektrificering til opfyldelse af klimamål udenfor kvotesektoren.

Analysen viser, at en udvikling med en høj grad af elektrificering – og dermed fortrængning af primært olie og gas – frem mod 2030 kan levere omkring halvdelen af de nødvendige reduktioner for at leve op til den forventede danske reduktionsforpligtelse på ikke-kvote området. De nuværende salgstal for elbiler og varmepumper peger imidlertid i retning af et lavt scenarie for elektrificering og dermed et begrænset bidrag til CO<sub>2</sub>-reduktionen. Der er behov for ændrede økonomiske rammevilkår og fortsat teknologisk udvikling, hvis det høje potentiale for CO<sub>2</sub>-reduktioner gennem elektrificering skal høstes.

Fra et klima- og energipolitisk perspektiv er budskabet at elektrificering er en klimastrategi i tråd med de langsigtede mål om grøn omstilling og lavemissionsamfund 2050. En god klimastrategi skal netop have blik for det langsigtede perspektiv og at der også vil være reduktionskrav efter 2030. Endvidere er budskabet at en udvikling uden væsentligt bidrag fra elektrificering vil medføre betydeligt skrappe krav til landbrug og deraf følgende mindre landbrugsproduktion, omfattende skift til biomasse i varme og transport eller køb af reduktioner i andre lande – og dermed mindre bidrag til langsigtet grøn omstilling i Danmark.

---

## Klimamål udenfor kvotesektoren

De danske udledninger af drivhusgasser udenfor kvotesektoren skal sænkes med 39 % i 2030 i forhold til 2005-niveau, hvis Kommissionens forslag til byrdefordeling af reduktioner mellem landene vedtages. En reduktion på 39 % kommer ikke af sig selv. Det kræver, nye politiske initiativer som ændrer på danskernes valg af opvarmningsform og transportmiddel.

Formålet med denne analyse er at undersøge potentialer for elektrificering og bidraget herfra til CO<sub>2</sub>-reduktion – med særligt fokus på hvilken rolle elektrificering kan spille i opfyldelsen af den kommende danske reduktionsforpligtelse i de ikke-kvoteomfattede sektorer for perioden 2021-30. Når der ikke sættes fokus på perioden efter 2030 skyldes det at teknologiusikkerheden er for stor til at egentlige potentialer kan beregnes. Dog ligger der i analysen en forventning om at elektrificering af samfundet også efter 2030 bliver det centrale virkemiddel til udfasning af fossile brændsler.

*EU's samlede udledning af drivhusgasser er opdelt i hhv. kvote og ikke-kvotesektor. Udledningen fra de store forbrændingsanlæg og industrier er reguleret via det europæiske kvotehandelsdirektiv. Udledningen fra transport, mindre industri, husholdninger samt landbruget er reguleret gennem nationale udledningslofter og skal håndteres via beslutninger i det enkelte medlemsland.*

## Potentialet og scenarier for elektrificering

Potentialet for elektrificering er primært begrænset af hensyn til økonomi. Økonomien afhænger af både den teknologiske udvikling og rammevilkår for eldrevne ift. brændselsbaserede teknologier. Inden for transport har særligt prisen på batterier stor betydning for udbredelse af elkøretøjer som fx elbiler.

I en opfølgende analyse vil der blive kigget nærmere på, hvilke rammevilkår og teknologiske udviklinger, der kræves, for at eldrevne teknologier slår igennem.

Der er opstillet et Højt og Lavt scenarie for elektrificering frem mod 2030. Det øgede elforbrug til elektrificering er hhv. 7,3 TWh og 1,8 TWh i 2030 i scenarierne ift. i dag, hvilket svarer til en forøgelse af det nuværende danske elforbrug med hhv. ca. 20% og 5%. Det høje scenarie udtrykker en ambitiøs elektrificering, som er teknisk mulig, men vil kræve både ændrede økonomiske rammevilkår og teknologisk udvikling, for at blive indfriet.

Det lettest tilgængelige potentiale for elektrificering på kort sigt er opvarmning (eldrevne varmepumper i individuelle husstande og små decentrale fjernvarmeanlæg). Det største sektor-potentiale er elbiler til privattransport.

## CO<sub>2</sub>-fortrængning fra elektrificering udenfor kvotesektoren

Når man tager højde for den forventede udvikling i ikke-kvoteomfattede udledninger i Danmark frem mod 2030 uden nye tiltag (Energistyrelsens basisfremskrivning 2015) og holder den op imod det forventede udledningsloft fra EU-Kommissionen fås et yderligere drivhusgasreduktionsbehov (manko) på i størrelsesordenen 35 mio. ton kumuleret over perioden 2021-2030.

I det opstillede Høje elektrificeringsscenario kan mankoen reduceres fra ca. 35 mio ton CO<sub>2</sub>-ækv. til ca. 17 mio ton CO<sub>2</sub>-ækv. Mao. vil en høj grad af elektrificering kunne levere over halvdelen af reduktionsindsatsen ift. EU forpligtelsen. I det lave scenarie reduceres mankoen kun med ca. 1 mio. ton CO<sub>2</sub> over perioden. I elektrificeringsscenarierne leverer transport den største del af de kumulerede CO<sub>2</sub>-besparelser. Elektrificering af ikke-kvoteomfattet opvarmning giver dog også betydelige reduktioner.

Samlet set peger den aktuelle udvikling målt på salgstal for varmepumper og elbiler i retning af et fremtidigt Lavt scenarie for elektrificering, forudsat nuværende økonomiske rammevilkår fastholdes. Herved høstes kun en lille del af det samlede CO<sub>2</sub> fortrængningspotentiale udenfor kvotesektoren.

## Samlet CO<sub>2</sub>-reduktion af elektrificering i kvote og ikke-kvotesektor

Det er en tilbagevendende diskussion, hvilken CO<sub>2</sub> effekt nyt elforbrug vil give anledning til i elproduktionen – dvs. i kvotesektoren. Svaret er, at det afhænger af hastigheden af den grønne omstilling i elproduktionen, herunder hvor hurtigt der bygges VE-elproduktion til at forsyne det nye elforbrug.

I dette notat regnes med et spænd på 70-350 g/kWh for CO<sub>2</sub>-intensitet i elproduktionen (afhænger af tempoet for elsektorens dekarbonisering). Dette indebærer, at den CO<sub>2</sub>-fortrængningseffekt, der kommer af at erstatte olie og gas med el, er 2-10 gange så stor som CO<sub>2</sub>-merudledningen fra elproduktionen, som dækker det nye elforbrug.

## Hvad er de klima- og energipolitiske implikationer af analysen?

Af regeringsgrundlaget fra november 2016 fremgår, at regeringen inden udgangen af 2017 vil udarbejde en omkostningseffektiv strategi for opfyldelse af Danmarks reduktionsforpligtelse frem mod 2030 på det ikke-kvoteomfattede område. Der er en række forhold, som indikerer, at øget elektrificering af transport og opvarmning bør spille en central rolle i en sådan strategi:

### *En klimapolitik med ambitiøs elektrificering understøtter langsigtede mål*

Elektrificering i kombination med omstilling til vedvarende energi i elproduktionen er en af de helt centrale veje til at opnå en langsigtet grøn omstilling af det samlede energisystem. At starte omstillingen til effektive eldrevne teknologier allerede i dag giver derfor både CO<sub>2</sub> reduktion på ikke-kvoteområdet 2021-30 og rigtig retning til det lange træk mod opfyldelse af 2050 målet om Danmark som et lavemissionssamfund, som er uafhængigt af fossile brændsler.

### *Skift til eldrevne teknologier giver bedre udgangspunkt for kommende reduktionsforpligtelser*

De forskellige håndtag til at opfylde EU målet for 2021-2030 har en mere eller mindre permanent effekt på drivhusgasudledninger. Den mest langvarige reduktionseffekt fås, hvor der sker et skift fra en teknologi med høje CO<sub>2</sub> udledninger til en teknologi med lave CO<sub>2</sub> udledninger. Det kunne fx være udskiftning af et oliefyr med en eldrevne varmepumpe. Tiltag, som gennemføres tidligt og har en varig effekt giver både maksimal effekt i 2021-2030 og et bedre udgangspunkt for perioden efter 2030, som vil byde på endnu skrapere klimakrav.

### *En klimapolitik med ambitiøs elektrificering kan skåne dansk landbrug*

En meget ambitiøs elektrificering på tværs af energi og transport kan levere over halvdelen af den nødvendige ekstra klimainsats i 2021-2030. Dertil kommer muligheden for at indregne et bidrag fra kulstofoptag i jord og skov (LULUCF) på knap 15 mio. ton. Dermed lettes klimapresset på dansk landbrug, som tegner sig for godt 1/3 af de ikke-kvoteomfattede udledninger, men som er stærkt konkurrenceudsat. Dermed reduceres behovet for at bruge offentlige midler på at købe reduktioner i udlandet.

### *Elektrificering går for langsomt, og der er behov for ambitiøs politik*

Skiftet til effektive eldrevne teknologier er ikke for alvor kommet i gang i Danmark – hverken indenfor opvarmning, transport eller industri. Blandt barriererne er en høj afgift på el, som gør det mindre attraktivt fx at udskifte oliefyr med varmepumper og en bilregistreringsafgifts-model, som har fjernet markedet for elbiler i Danmark. Regeringen bør derfor hurtigst muligt gennemføre de nødvendige ændringer af energi- og bilregistreringsafgifterne.

### *Men der vil givetvis også være behov for andre tiltag*

Der er andre måder at reducere udledningerne på det ikke-kvoteomfattede område, fx efterisolering af huse med olie- og gasfyr, iblanding af bio-brændstoffer i transportsektoren eller øget anvendelse af biogas frem for naturgas. Denne analyse ser ikke på omkostninger, forbundet med de forskellige håndtag. Det er derfor på baggrund af analysen ikke muligt at sige præcis, hvor langt man bør gå med elektrificering relativt til andre muligheder. Der vil sandsynligvis være brug for flere håndtag i en indsats, som er både omkostningseffektiv og langsigtet, herunder fortsat fokus på at energi anvendes effektivt.

# 2 Formål

---

Elektrificering er elforbrug, der vælges frem for anden type energiforbrug, f.eks. eldrevne varmepumper i stedet for oliefyr eller elbiler i stedet for konventionelle biler. Elektrificering fortrænger derfor fossile brændsler i transport og opvarmning mod at elforbruget til gengæld øges. Hermed kan den samlede CO<sub>2</sub>-udledning reduceres og det samlede energiforbrug sænkes pga. øget energieffektivitet.

Analysen af fremtidens energisystem har gentagne gange fremhævet at høj grad af elektrificering er den samfundsøkonomisk mest effektive måde til at gennemføre en grøn omstilling af energisystemet.

Herunder kan elektrificering bidrage til at reducere CO<sub>2</sub>-emission udenfor kvotesektoren, hvor Danmark forventes at skulle tage nye initiativer i brug for at leve op til EU-forpligtigelser i perioden 2021-2030.

## 2.1 Formål med analysen

Denne analyse skal bidrage til i en dansk kontekst at vise:

- Potentialer for elektrificering og den historiske udvikling
- CO<sub>2</sub>-reduktion fra elektrificering, herunder særligt potentielle bidrag til opfyldelse af kommende forpligtigelser på det ikke-kvotefattede område.

Fokus i dette notat er på de tekniske potentialer. I en opfølgende analyse vil vi kigge nærmere på økonomien i de forskellige løsninger, og se på hvilke rammevilkår og teknologiske udviklinger, der kræves for at eldrevne teknologier slår igennem.

## 2.2 Læsevejledning

I introduktionen (kapitel 3) beskrives elektrificeringsbidrag til fremtidens elforbrug og grønne omstilling. Desuden forklares målene for Danmark i og udenfor kvotesektoren, og hvordan elektrificering kan fortrænge CO<sub>2</sub> udenfor kvotesektoren.

I kapitel 4 bliver først gennemgået metode og nøgleantagelser til at beskrive potentialer for elektrificering gennem hhv. et Højt og Lavt scenarie. De nuværende salgstal for elbiler og varmepumper holdes op mod forskellige scenarier for elektrificering, og der gives eksempler på samfunds- og privatøkonomi i eldrevne ift. brændselsbaserede varmeløsninger.

I kapitel 5 omsættes scenarierne fra forrige kapitel til samlet reduktionsbidrag udenfor kvotesektoren for perioden 2021-2030, og der sammenlignes med den forventede reduktionsmanko. Herefter gennemgås hvordan elektrificering kan påvirke emissionerne i kvotesektoren, og den samlede CO<sub>2</sub>-effekt beregnes i scenarierne.

# 3 Indledning

Elektrificering vil bidrage til den grønne omstilling ved at nyt elforbrug fortrænger fossile brændsler i slutforbrugssektorer indenfor opvarmning og transport. Elektrificering er dermed måden, hvor el-systemet kan drive den grønne omstilling af resten af energisystemet.

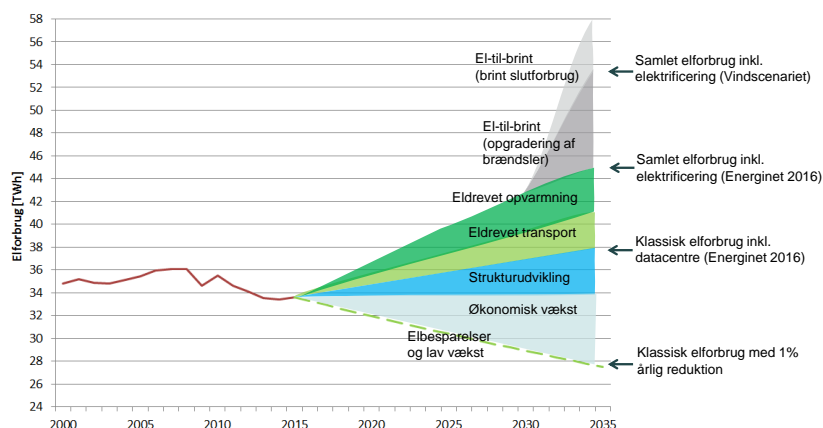
Danmark og EU har mål for CO<sub>2</sub>-reduktioner både i kvotesektoren (ETS) og udenfor kvotesektoren (non-ETS). Elektrificering fortrænger primært CO<sub>2</sub> i non-ETS, og det er dermed et middel til at indfri Danmarks forventede reduktionsmål i perioden 2021-2030.

I afsnittet gives en kort introduktion til hvordan elektrificeringen af opvarmning og transport vil være et blandt flere bidrag til øget elforbrug i fremtiden. Herefter gennemgås mål i og udenfor kvotesektoren, som er relevant, da elektrificering kan flytte emissioner fra non-ETS til ETS.

## 3.1 Elektrificeringens bidrag til fremtidens elforbrug og grøn omstilling

I Danmark voksede elforbruget frem til midten af 1990'erne og har herefter ligget rimelig konstant på 35-36 TWh/år frem til finanskrisen. Herefter er elforbruget faldet med ca. 1 % p.a. til et niveau på ca. 33 TWh. På **Figur 1** er vist mulige bidrag til fremtidens elforbrug mod 2035.

**Figur 1** Udvikling i elforbrug frem mod 2035 afhænger af en række bidrag, der både kan øge og sænke elforbruget. Elektrificering kan give betydeligt bidrag.



**Kilde:** Dansk Energi ud fra (Energinet.dk, 2016) samt (ENS, 2014). Scenarie med reduktion i elforbruget med 1% pr. år på basis af (Sandbag, 2014).

Udfaldsrummet for elforbruget i fremtiden er dog ganske stort og afhænger af den økonomiske vækst, elbesparelser, strukturudviklingen i erhvervene (fx



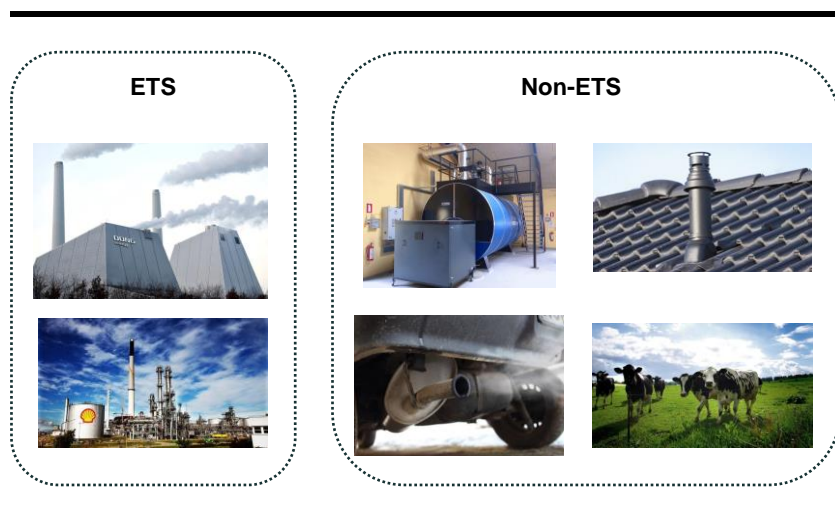
datacentre) og i hvor høj grad det lykkes at elektrificere transport og opvarmning. Særlig stor usikkerhed er der om elforbrug til brint<sup>1</sup> frem mod 2035.

Elektrificering vil bidrage til den grønne omstilling ved at fortrænge fossile brændsler i slutforbrugssektorer. Elektrificering er dermed måden, hvor et grønt elsystem kan drive den grønne omstilling af resten af energisystemet. Elektricitet kan særligt effektivt fortrænge brændsler pga. elmotorers høje virkningsgrad. Som tommelfingerregel kan ca. tre enheders brændsel erstattes af en enhed el, hvis der skiftes fra benzin- til elbil eller fra oliefyr til varmepumpe.

### 3.2 CO<sub>2</sub> udledninger i kvote og ikke-kvotesektorerne

Den europæiske klimaindsats er fordelt på to overordnede instrumenter. Det europæiske kvotehandelssystem (ETS) regulerer emissioner fra store stationære anlæg<sup>2</sup>. Dette omfatter bl.a. kraftværker og tung industri. Øvrige emissioner reguleres af nationalstaterne, der gennem en aftalt byrdefordeling (ESD) får sat mål for deres non-ETS emissioner. Populært sagt reguleres ETS emissioner gennem store skorstene, mens emissioner fra små skorstene reguleres af non-ETS forpligtelserne.

**Figur 2** Regulering af udledninger i hhv. ETS-sektor for store anlæg og øvrige emissioner fra transport, landbrug, industri og husholdninger i non-ETS.



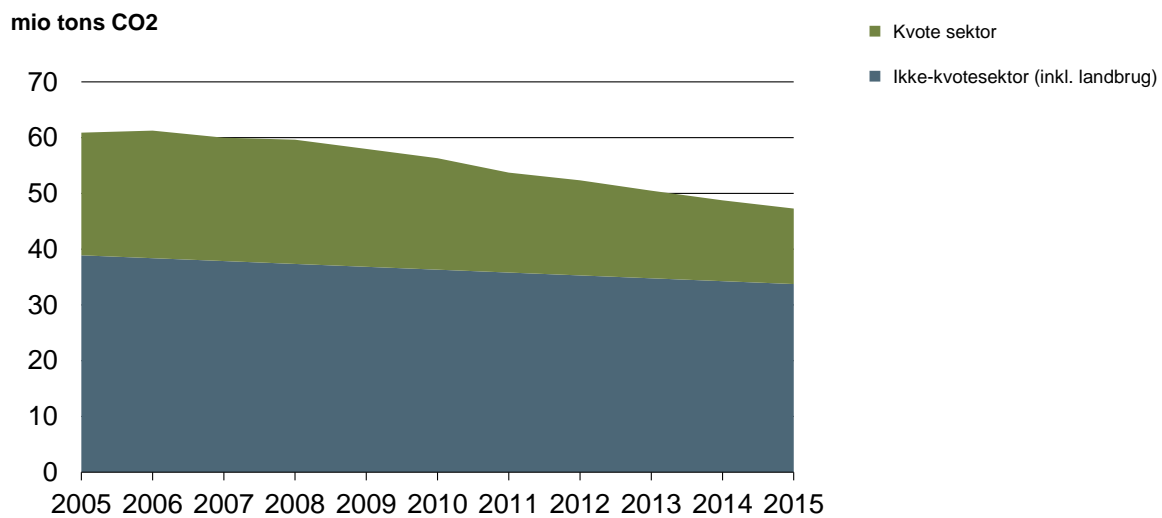
Elektrificering bidrager primært til CO<sub>2</sub>-reduktioner ved at reducere forbrug af fossile brændsler i de ikke-kvotefattede sektorer (non-ETS). Non-ETS omfatter også udledning af øvrige drivhusgasser fra industrien og metan og lattergas fra landbruget, men disse vil ikke blive behandlet i denne analyse, da fokus er på elektrificering.

Elektrificering vil primært fortrænge CO<sub>2</sub> i Non-ETS, men det kan medføre en øget CO<sub>2</sub>-emission i ETS pga. øget elproduktion til elektrificeringen. Dette uddybes i kapitel 5.3.

<sup>1</sup> Brint kan bl.a. bruges til opgradering af biobrændstoffer. Brint tegner sig for en stor del af elforbruget i 2035 i Energistyrelsens Vindscenarie og en meget stor del i 2050. Dette vil dog kræve store gennembrud for omkostningen til brintteknologier, hvis brint skal blive den billigste vej til en grøn omstilling af hele energisystemet. (kilde: Dansk Energi 2016c)

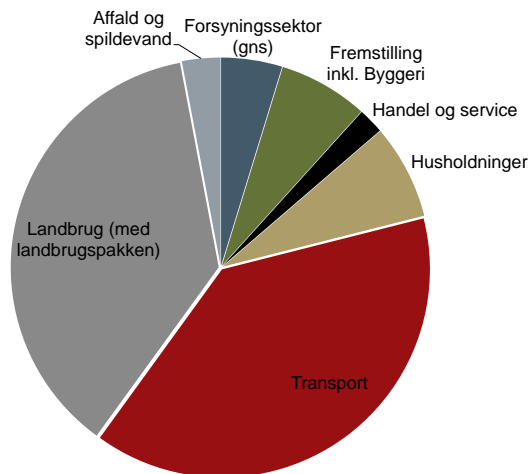
<sup>2</sup> Med en indfyret effekt over 20 MW

**Figur 3** Udvikling i CO<sub>2</sub>-emission i kvote og ikke-kvote sektor



På figuren nedenunder er vist hvordan forskellige sektorer bidrager til emissionerne udenfor kvotesektoren.

**Figur 4** Fordeling af emissioner i Non-ETS 2016



**Kilde:** Energistyrelsens Basisfremskrivning 2015 og svar til folketinget om landbrugspakke.

Udledningerne i Danmark er underlagt en række forskellige mål som er opsummeret i **Tabel 1**

**Tabel 1** Klimamål for ETS og non-ETS i hhv. EU og Danmark

|  |
|--|
| <p>EU's langsigtede mål: 80-95 pct. reduktion af samlede drivhusgasser i 2050 i fht. 1990.</p> <p>EU's ETS mål: 43 % reduktion i 2030 ift. 2005</p> <p>EU's Non-ETS mål: 30% reduktion i 2030 ift. 2005</p> <p>Danske forpligtelser ift. EU</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ VE-mål for 2020: 30 %</li> <li>▪ Non-ETS mål for 2013-2020: stigende op til 20 % reduktion i fht. 2005</li> <li>▪ EU-kommissionen har foreslået et Non-ETS mål for 2021-2030: stigende op til 39 % reduktion i fht. 2005</li> </ul> |
|--|

Af ovenstående mål er Danmark på vej til at overopfylde VE-målet og Non-ETS målet for 2020.

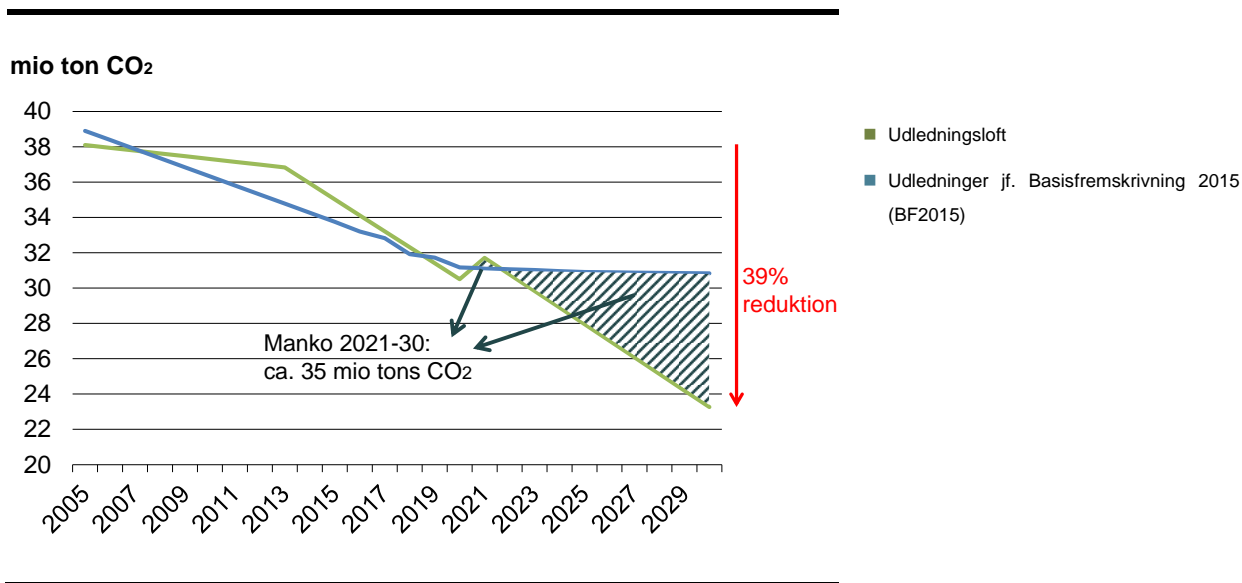
### Behov for yderligere CO<sub>2</sub>-fortrængning udenfor kvotesektoren

Det non-ETS mål for 2021-2030, som forventes at blive den danske reduktionsforpligtelse i medfør af EU 2030 rammen, vil være bindende, når byrdefordelingsaftalen er endelig vedtaget. Non-ETS målet er udformet som et udledningsloft for perioden 2021-2030. Her er det muligt at overopfylde i et år og underopfylde i et andet år.

Det forventede samlede behov for yderligere CO<sub>2</sub>-reduktioner uden for kvotesektoren 2021-2030 ift. Energistyrelsens Basisfremskrivning 2015 er i størrelsesordenen **ca. 35 mio. ton** med betydelig usikkerhed<sup>3</sup>. Det ses på **Figur 5** som arealet mellem den blå og grønne streg. Der er en mindre overopfyldelse i starten af perioden (faktiske udledninger (blå) er under loftet (grøn)), men fra 2022 og resten af perioden forventes udledningerne – i fravær af nye tiltag – at ligge over udledningsloftet.

<sup>3</sup> Energistyrelsens basisfremskrivning 2015 har kun detaljerede tal for udviklingen i non-ETS udledninger frem til 2020. Herefter er antaget udledningerne er konstante, dog med et svagt stigende bidrag fra elektrificering som følge af allerede vedtagne politikker. Disse bidrager med knap 5 mio. ton kumuleret over perioden 2021-2030 (se uddybning i Bilag 6.1).

**Figur 5.** Forventet udledningsloft udenfor kvotesektoren samt emissioner ifølge Basisfremskrivningen 2015.



Det vil formentlig kræve supplerende politikker for Danmark at opfylde det forventede Non-ETS mål for 2021-30 – enten i form af tiltag til at fremme hjemlige reduktioner eller ved brug af såkaldte fleksibilitetsmekanismer (se forklaring i **Tabel 2**) – eller en kombination af begge dele.

**Tabel 2** Fleksibilitetsmuligheder for non-ETS målopfyldelse, som Danmark kan bruge

**Kilde:** Dansk Energi

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Over- og underopfyldelse og køb af reduktioner i udlandet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle lande</li> <li>• Flexibilitet mellem årene inden for forpligtelsesperioden - dog begrænsning på underopfyldelsen</li> <li>• Købe fra eller sælge til andre medlemslande</li> </ul> | <p><b>Annullere kvoter i stedet for at reducere i non-ETS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kun visse lande</li> <li>• Kan kun foretages én gang</li> <li>• Skal notificeres inden 2020</li> <li>• 100 millioner kvoter i alt på EU plan</li> <li>• Danmark kan bruge 2 % af egne 2005 udledninger dvs. i alt 7,5 mio. ton CO<sub>2</sub> i ETS kvoter</li> </ul> |
| <p><b>Bruge LULUCF kreditter (skov og jordbrug)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 280 millioner ton CO<sub>2</sub>-ækv i alt på EU plan</li> <li>• Danmark kan bruge 14,6 mio. ton CO<sub>2</sub>-ækv i alt</li> </ul>  |  |

Udover de bindende mål under EU's klima og energipolitik er der også nationale klima – og energimål, som har en lidt anderledes karakter, idet de ikke er retlige forpligtelser, men indikative målsætninger besluttet af politiske flertal. Centralt står det langsigtede mål om et energisystem, som er uafhængigt af fossile brændsler i 2050. Dette mål bakkes op af et bredt politisk flertal. Endvidere har et folketingsflertal besluttet et indikativt mål på 40 pct. samlet drivhusgasreduktion i 2020, som dog ikke bakkes op af regeringen.

I VLAK-regeringsgrundlaget fra november 2016 er en samlet VE-andel på 50% i 2030 nævnt som et centralt mål. Dette kan opnås på mange forskellige måder med fx øget VE-produktion fra biomasse og vind, øget VE-anvendelse af biomasse og elektrificering samt øget energibesparelser. Der vil være positiv synergi mellem opnåelse af CO<sub>2</sub>-reduktionsmål udenfor kvotesektoren 2021-2030 ift. at opnå et samlet mål VE-andel i 2030.

# 4 Potentialer for elektrificering

---

Potentialet for elektrificering er primært begrænset af hensyn til økonomi. Økonomien afhænger af både den teknologiske udvikling og rammevilkår for eldrevne ift. brændselsbaserede teknologier. Inden for transport har særligt prisen på batterier stor betydning for udbredelse af elkøretøjer som fx elbiler.

Der er opstillet et Højt og Lavt scenarie for elektrificering frem mod 2030. Det øgede elforbrug til elektrificering er hhv. 7,3 TWh og 1,8 TWh i 2030 i scenarierne ift. idag, hvilket svarer til en forøgelse af det nuværende danske elforbrug med hhv. ca. 20% og 5%. Det lettest tilgængelige potentiale for elektrificering på kort sigt er opvarmning. Det største sektor-potentiale for elektrificering er privattransport.

Samlet set peger den aktuelle udvikling målt på salgstal for varmepumper og elbiler i retning af et fremtidigt Lavt scenarie for elektrificering, forudsat nuværende økonomiske rammevilkår fastholdes. Herved høstes kun en lille del af de samlede CO<sub>2</sub> reduktionspotentialer.

---

Det tekniske potentiale for elektrificering er meget stort, da der stort set findes en eldrevet erstatning for alle de nuværende brændselsbaserede teknologier i energisystemet indenfor transport og opvarmning.

Begrænsningen i potentialet for elektrificering er derfor overvejende af økonomiske hensyn, særligt:

- Investeringsomkostninger til eldrevne teknologier i transport, specielt batterier, er i øjeblikket højere end konventionelle køretøjer. Indenfor tung transport (lastbiler, busser, fly, skibe) er det pga. nuværende batteripriser og -teknologi vanskeligt at lave konkurrencedygtige eldrevne løsninger til transport over lange distancer.
- For personbiler har registreringsafgiften stor betydning for samlet brugerøkonomi i Danmark.
- Afgiftssystemet påvirker konkurrenceforholdet mellem eldrevne og brændselsbaserede løsninger indenfor både kollektiv og individuel opvarmning.
- Særligt indenfor procesvarme med temperaturkrav over 200 °C vurderes det i øjeblikket svært for varmepumper at konkurrere med gasfyret procesvarme.
- Denne analyse går ikke i dybden med omkostningerne forbundet med de forskellige konverteringsmuligheder. Analysen forventes senere udvidet med estimater over omkostninger knyttet til de forskellige teknologier – og deraf følgende CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger. Dog er der implicit i valg af indfasningsprofil i elektrificeringsforløb gjort antagelser om udvikling i relative omkostninger.

Afsnittet fokuserer på at vise størrelsesforhold for de forskellige energiforbrug, som kan elektrificeres og hvilken CO<sub>2</sub>-fortrængning, det kan medføre.

## 4.1 Metode

Der er defineret et Højt og Lavt scenarie for elektrificering med henblik på at afdække et bredt udfaldsrum fra en beskeden til en meget høj elektrificeringsgrad, hvilket afspejler en meget reel usikkerhed om udviklingen. Det Høje scenarie svarer til ambitiøs udbygning inden for en række elektrificeringspotentialer frem mod 2030. I det Lave scenarie er andelen af elektrificering 1/5 af det Høje scenarie bortset fra elforbrug til togdrift, som er scenarieuafhængigt.

Der er valgt en indfasningsprofil svarende til teknologiernes modenhed, dvs. modne teknologier såsom varmepumper indfases lineært, mens teknologier såsom elbiler har et eksponentielt forløb frem til det scenarie-bestemte niveau i 2030.

I nedenstående boks er metoden uddybet og der henvises til centrale figurer:

### Sådan har vi gjort

#### Elektrificeringskategorier

Potentialet for at elektrificere er opdelt på en række kategorier indenfor transport og opvarmning, hvor elforbrug kan afløse brug af fossilt brændsel eller biomasse:

- Transport (elbiler, elvarebiler, tog, skibe, lastbiler, busser, traktorer)
- Opvarmning (Individuelle varmepumper, store varmepumper til fjernvarme og proces)

I Bilag 6.1 er vist elektrificeringskategorier og tilhørende data for hvert af nedenstående emner.

#### Nettoenergiforbrug i 2030

For hver elektrificeringskategori er vist det faktiske brændselsforbrug samt nettoenergiforbruget i 2014, der ikke allerede er eldrevet. Sidstnævnte udtrykker energibehovet uden konverteringstab, og det er fremskrevet til 2030 med en årlig vækstrate pr. kategori.

Nettoenergiforbruget i elektrificeringskategorierne er fordelt mellem kvote- og ikke-kvotesektor, hvoraf størstedelen findes i sidstnævnte.

#### Højt og Lavt scenarie for elektrificering

Der er lavet to scenarier (Højt og Lavt) ud fra hvilken andel nyt elforbrug antages at udgøre af nettoenergiforbruget i 2030. For hver kategori er valgt en indfasningsprofil (sti) for elektrificeringen fra 2015-2030. Jo hurtigere indfasningen finder sted, jo større bliver den akkumulerede brændsels substitution og CO<sub>2</sub>-fortrængning over perioden frem til andelen i 2030 er opnået.

Højt scenariet udtrykker en andel i hver elektrificeringskategori, der vil kræve en ambitiøs indsats at opnå i 2030. Lav scenariet er defineret som 1/5 af andelen, der opnås i Høj scenariet (bortset fra øget elforbrug til tog, som i begge scenarier er andel på ca. 80% (ENS 2015)). På Figur 7 er vist bidraget fra elektrificering i de to scenarier til det samlede danske elforbrug frem mod 2030.

#### CO<sub>2</sub> fortrængning for elektrificeringskategorier

For hver elektrificeringskategori er angivet virkningsgraden for ny fossil teknologi samt eldrevet teknologi, fx COP for varmepumpe ift. gaskedel eller effektivitet af elbil ift. benzinbil. På baggrund af disse antagelser kan for hver kategori vises hvor meget CO<sub>2</sub>, der fortrænges pga. nyt elforbrug fra elektrificering. Disse tal er vist på Figur 17.

#### CO<sub>2</sub> fortrængning uden for kvotesektoren 2021-2030

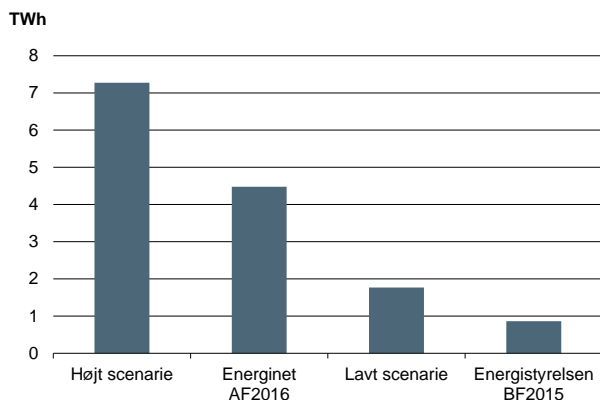
Ved at anvende scenarieantagelser for andel af nettoenergiforbruget og indfasningsprofil sammen med CO<sub>2</sub> fortrængning for hver elektrificeringskategori kan den samlede CO<sub>2</sub> fortrængning beregnes for perioden 2021-2030.

På Figur 18 er vist CO<sub>2</sub> fortrængningen i 2030 udenfor kvotesektoren i hhv. Lavt og Højt scenariet samt den resterende CO<sub>2</sub>-udledning pr. kategori. De kumulerede CO<sub>2</sub>-fortrængninger fra 2021-2030 er vist på Figur 19.

## 4.2 Elforbrug til elektrificering

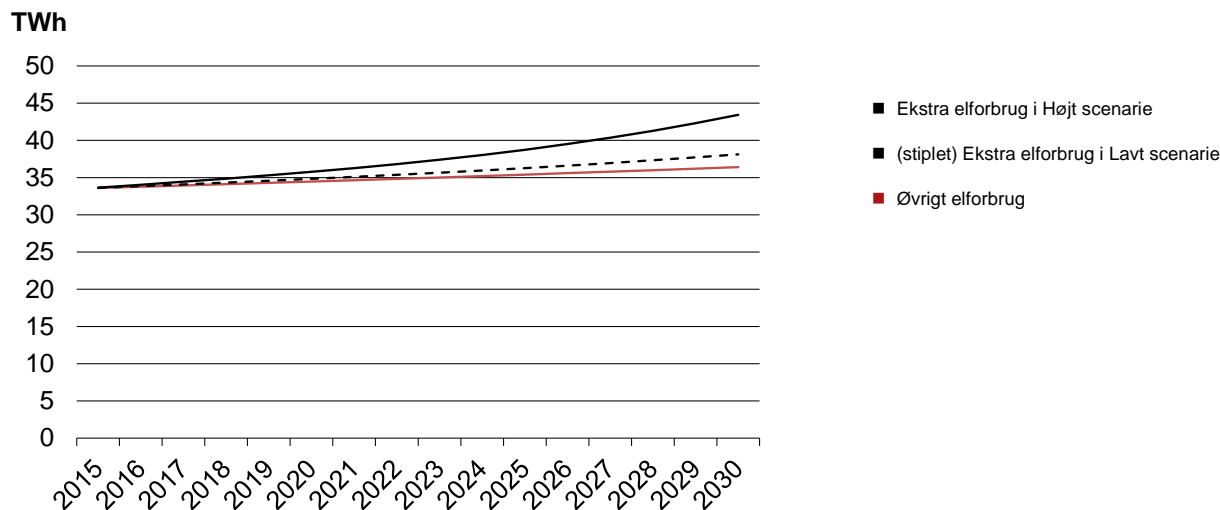
I det Høje scenarie er øget elforbrug pga. elektrificeringen ca. 7,3 TWh i 2030 og ca. 1,8 TWh i Lavt scenarier. Til sammenligning forudsætter Energinets Analyseforudsætninger 2016 (Energinet 2016)<sup>4</sup> ekstra elektrificering på ca. 4,5 TWh i 2030, og Energistyrelsens Basisfremskrivning 2015 (ENS 2015)<sup>5</sup> i størrelsesordenen 0,9 TWh i 2030.

**Figur 6** Øget elektrificering i forskellige scenarier fra 2015 til 2030



I nedenstående er vist elektrificeringens bidrag til det samlede elforbrug:

**Figur 7** Samlet nyt elforbrug (TWh) i Højt og Lavt scenarie



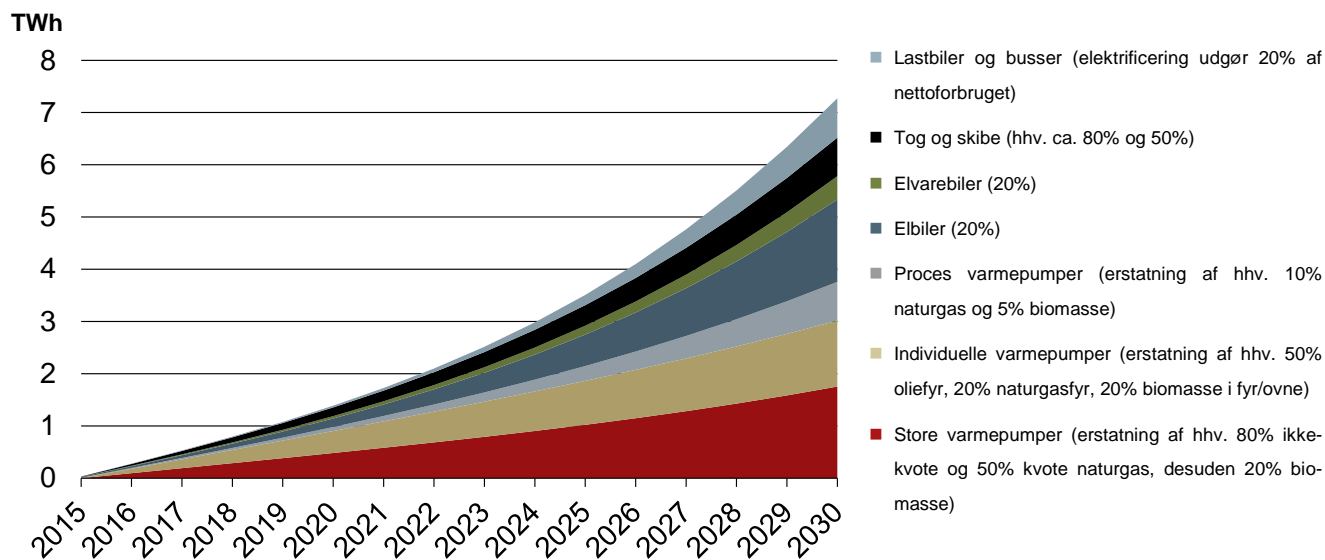
<sup>4</sup> Tilvækst fra 2016 til 2030 i kategorierne "Individuelle varmepumper", "Elbiler", "Fjern og elektrificering af fjernbanen" og "Elpatroner og store varmepumper"

<sup>5</sup> Tilvækst fra 2016 til 2030 i kategorierne elbiler, elbusser og ellastbiler, små og store varmepumper. Der er antaget konstant forløb 2026-2030 for kategorierne ud fra 2025-niveaueet. Desuden er øget eldrift til toge medtaget for hele perioden til 2030.



På **Figur 8** er fordelingen af nyt elforbrug i de forskellige kategorier vist for det Høje elektrificeringsscenario

**Figur 8** Elektrificering i det Høje scenarie. Ud for kategorierne er nævnt elektrificeringsandelen af nettoenergiforbruget i 2030.



Det er elbiler, individuelle varmepumper<sup>6</sup> og store varmepumper til fjernvarme som står for størstedelen af elforbruget i scenariet i 2030. Særligt for store varmepumper skal det bemærkes at kun under en tredjedel af elforbruget fører til CO<sub>2</sub>-fortrængning (naturgas) i ikke-kvote. De resterende varmepumper fortrænger naturgas i kvotesektoren eller biomasse.

På grund af de valgte indfasningsprofiler for hhv. varmepumper og eldrevet transport er det øget elforbrug til opvarmning, som bidrager med mest elforbrug i perioden frem til 2025, mens elforbruget til transport stiger betydeligt herefter frem mod 2030.

Alle antagelserne for elektrificeringskategorierne ses i Bilag 6.1.

<sup>6</sup> Individuelle varmepumper til énfamiliehuse og fælles ejendomme fx etagebyggeri samt til handel og industri – dvs. steder uden fjernvarme

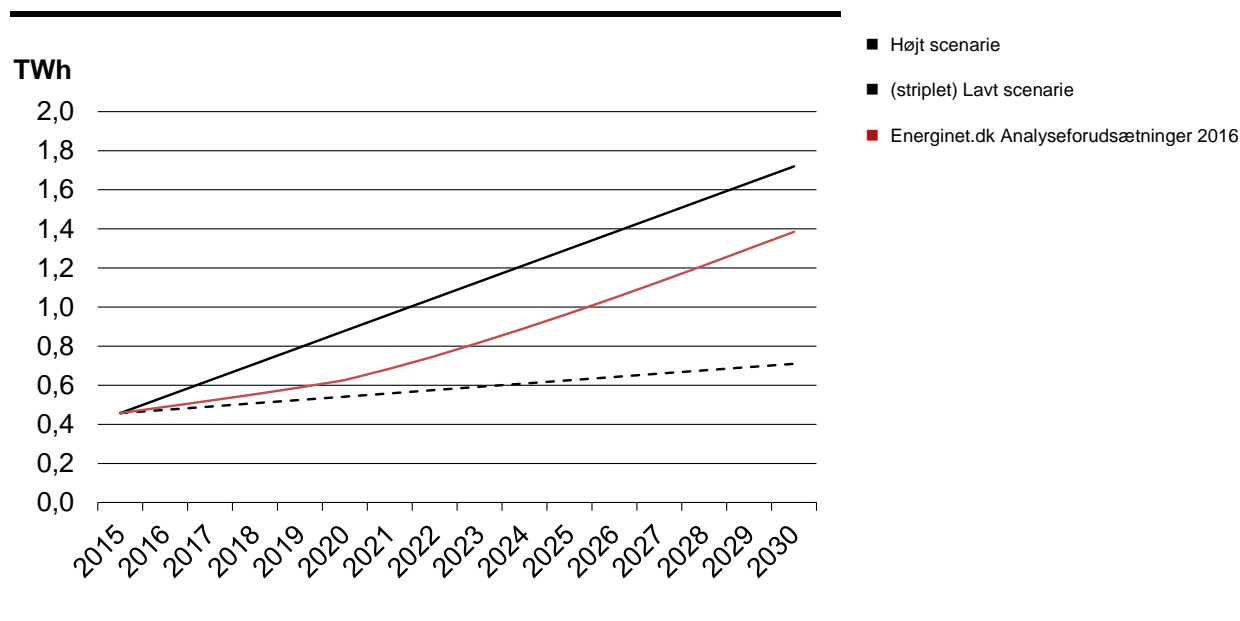
### 4.3 Scenarier og salgstal for varmepumper og elbiler

I de næste delkapitler gennemgås antagelserne i Højt og Lavt scenarierne for individuelle varmepumper, store varmepumper til fjernvarme samt elbiler, og det sammenlignes med øvrige forventninger. Med udgangspunkt i de historiske salgstal diskuteres det herefter, hvilket scenarie den nuværende udvikling peger i retning af samt hvordan det økonomiske forhold er mellem eldrevne og konventionelle teknologier.

#### 4.3.1 Individuelle varmepumper

På **Figur 9** er elforbruget til individuelle varmepumper (samt til handel og industri der bidrager med ekstra ca. 10%) vist for scenarierne med Høj og Lav elektrificering. Hertil er indtegnet Energinet.dk Analyseforudsætninger 2016 for varmepumper i husstande. Scenarierne tager udgangspunkt i 2015-niveauet.

**Figur 9** Elforbrug til individuelle varmepumper i scenarierne

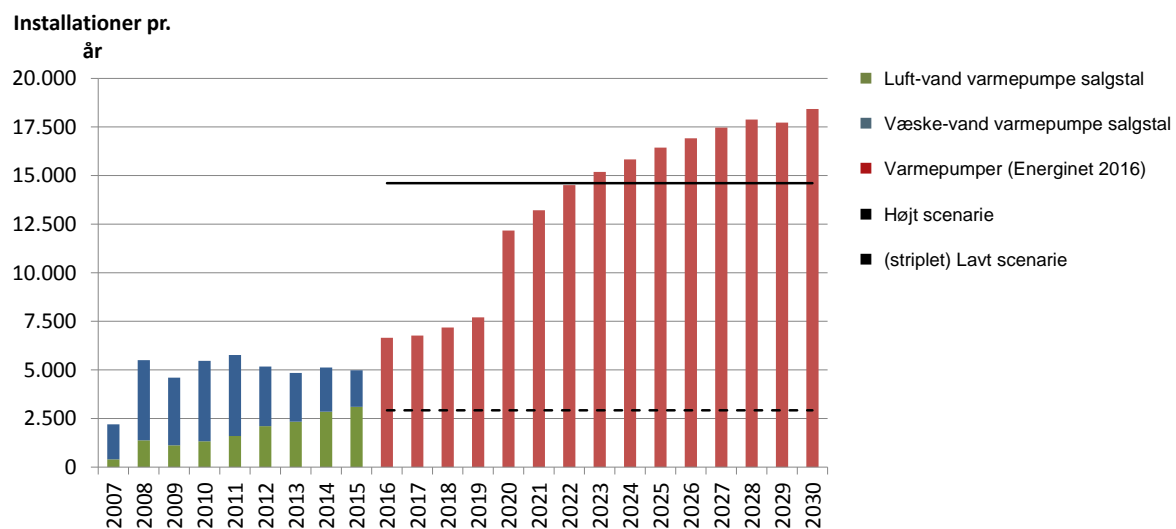


#### Salgstal og økonomi

På **Figur 10** ses det at individuelle varmepumper til huse med radiator-systemer har haft salgstal på ca. 5.000 stk/år fra 2008-2015, herunder at luftvand varmepumper udgør en stadig større del af dette salg på bekostning af væske-vand varmepumper.

Forventningen til fremtidige installationer af individuelle varmepumper er vist ud fra Energinet.dk's Analyseforudsætninger 2016 (hvor salgstallet er beregnet ud fra det elforbrug, der ses på **Figur 9**) samt i det høje og lave elektrificeringsscenario.

**Figur 10** Historiske salgstal<sup>7</sup> for luft-vand og væske-vand 2007-2015 samt forventninger<sup>8</sup> til husstandsvarmepumpesalg frem mod 2030



Det nuværende stabile salgstal på ca. 5000 varmepumper pr. år skal ca. fordobles i 2020 og ca. tredobles frem mod 2025 for at forventningen i Energinets Analyseforudsætninger bliver indfriet.

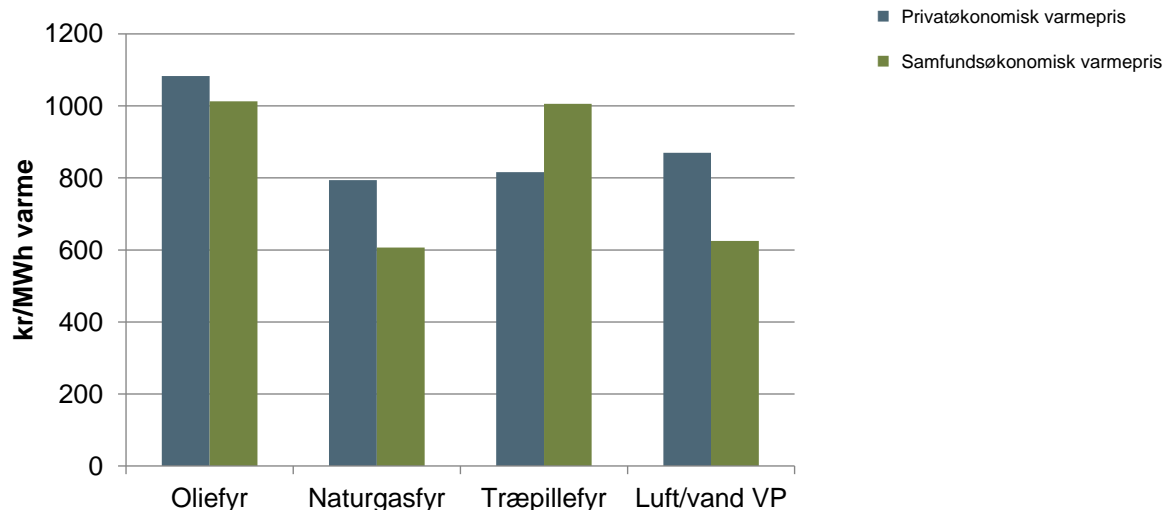
I det høje scenarie forudsættes ligeledes en tredobling af salgstallet til ca. 15.000 varmepumper pr. år, mens det lave scenarie svarer til at ca. 3.000 varmepumper pr. år, hvilket er niveauet for nuværende luft-vand varmepumpesalg.

På figuren ses omkostninger til forskellige opvarmningsløsninger i husstande. Der er medtaget pris for installation og drift regnet både ud fra privatøkonomi (dvs med afgifter og støtte) samt samfundsøkonomisk.

<sup>7</sup> Varmepumpestatistik, Energistyrelsen – tallene dækker størstedelen af producenter på det danske marked

<sup>8</sup> Elforbrug til individuelle varmepumper i (Energinet 2016) omregnet til salgstal via årligt husstandsvarmeforbrug på 18 MWh<sub>varme</sub> og COP=3,5.

**Figur 11** Årlige omkostninger til opvarmning i husstande med 18 MWh/år.  
kilde: Data fra (Dansk Energi 2014)



Ud fra et samfundsøkonomisk synspunkt er luft/vand varmepumpe og naturgasfyr billigst, men med afgifter er naturgas- og træpillefyr billigst for forbrugeren pga. elafgifter til varmepumpen.

Det må antages at kræve en ændring i de privatøkonomiske forhold mellem varmepumper og konkurrerende varmeløsninger til husstande, for at nuværende varmepumpesalgstal kan følge Energinet fremskrivning eller det Høje scenarie. Særligt konvertering af individuelle naturgaskedler og træpillefyr/brændeovne til varmepumper eller hybrid-varmepumper kan øge markedspotentialet ud over hvad omlægning af oliefyr til varmepumper kan bidrage med.

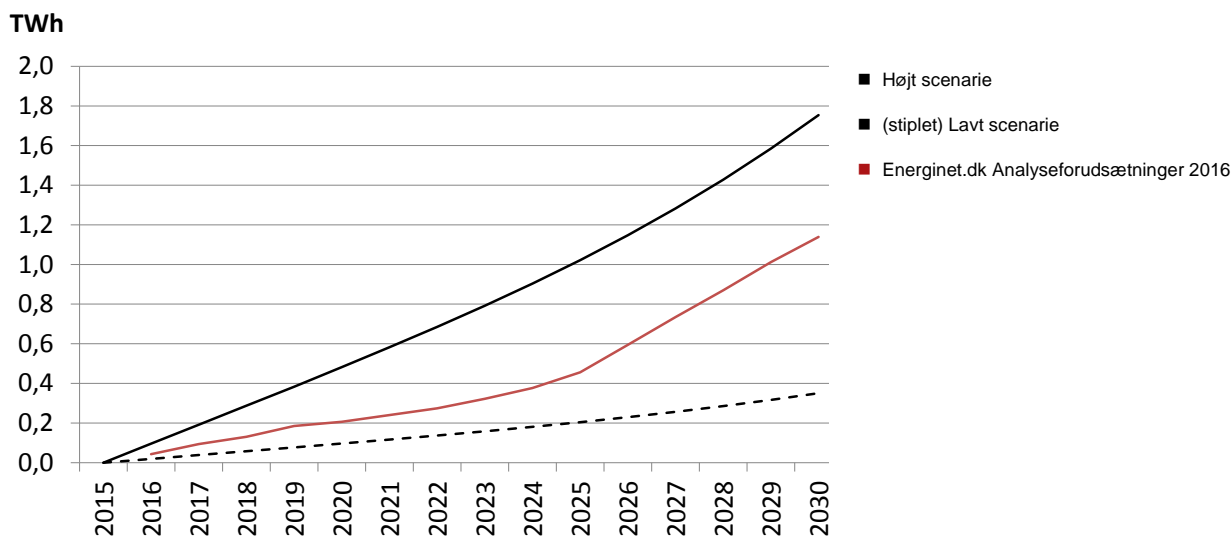
Desuden kan billiggørelse af varmepumper, både lavere produktions- og installationspris, være med til at gøre eldrevne varmepumper mere udbredte. Den højere installationspris for varmepumper end gas/biomassefyr er også en barriere som nye forretningsmodeller baseret på fx leasing af varmepumpe forsøger at overkomme. Hertil kommer en række ikke-økonomiske faktorer, som påvirker forbrugernes valg af varmeløsning.

#### 4.3.2 Store varmepumper til fjernvarme

Eldrevne varmepumper og kedler i fjernvarmen har potentiale til erstatte naturgasfyret produktion på decentrale kraftvarmeanlæg, der indenfor de kommende år skal investere i ny varmeproduktion.

Nedenunder er vist antagelser for elforbrug til store varmepumper i scenarierne ift. Energinet.dk's Analyseforudsætninger 2016.

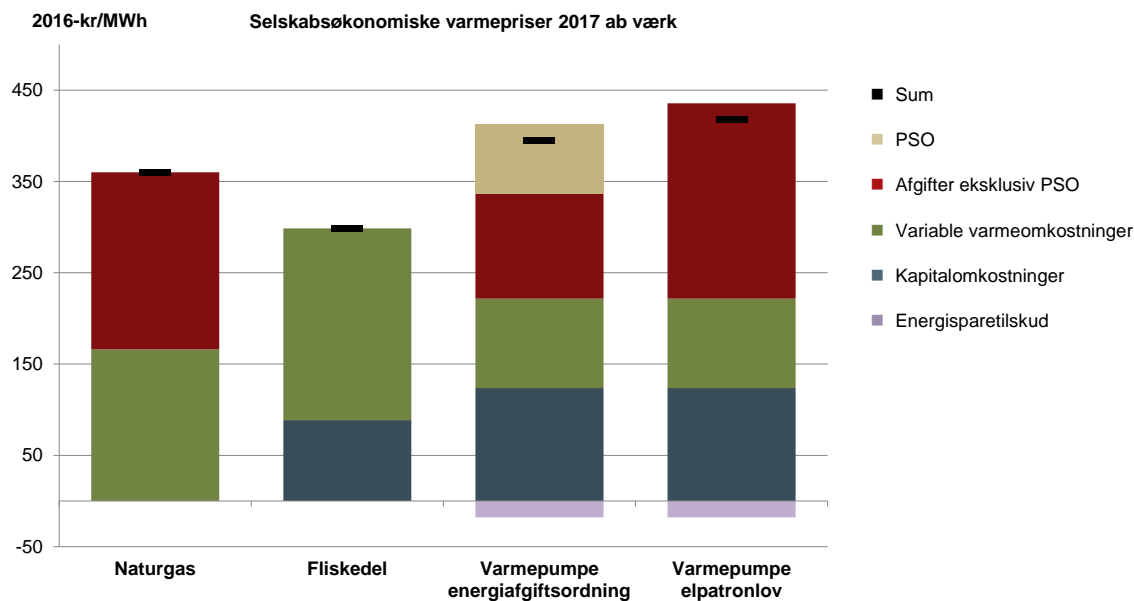
**Figur 12** Elforbrug til store varmepumper i decentrale- og centrale fjernvarmeområder



### Salgstal og økonomi

På **Figur 13** fremgår det, at afgiftsfritaget biomasse gør fliskedler til et selskabsøkonomisk attraktivt valg, på trods af at samfundsøkonomien i varmepumper er bedre, målt ud fra varmepriser uden afgifter.

**Figur 13.** Investerings- og driftsomkostninger samt afgifter for forskellige decentrale fjernvarmevarmeteknologier. Varmepumper er vist med hhv. energiafgiftsordning (input-afgifter) og elpatronlov (output-afgifter).



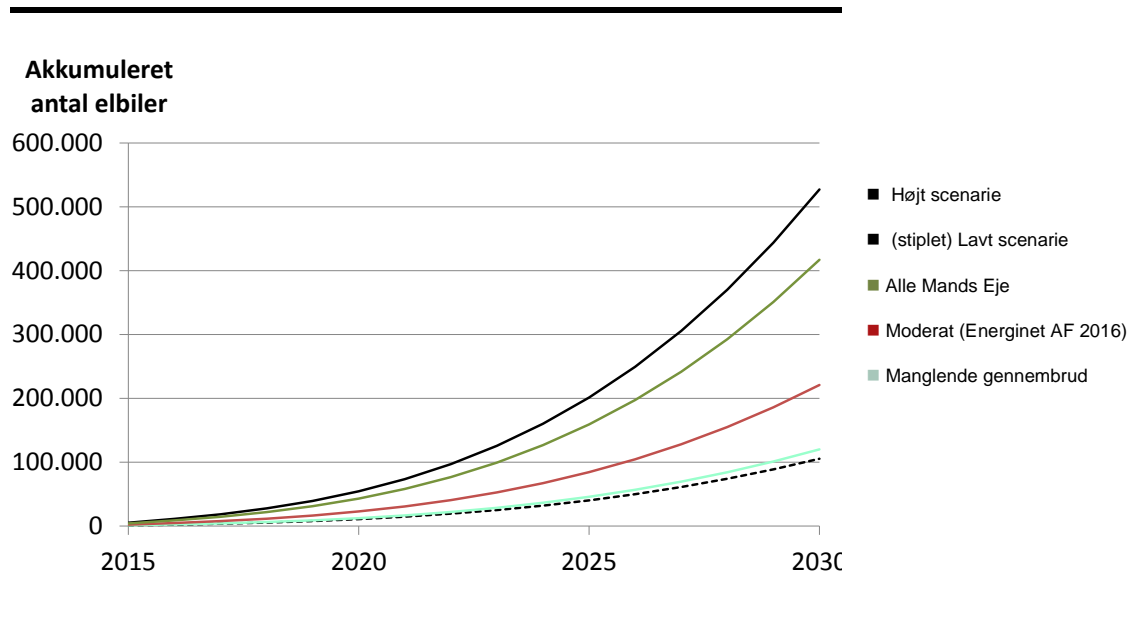
Siden 2010 er der etableret biomassekedler med en samlet kapacitet på godt 370 MW varme<sup>9</sup>. Det tilsvarende tal for eldrevne varmepumper er 15 MW. Såfremt varmepumper skal vinde udbredelse i fjernvarmen kræver det forbedrede økonomiske rammevilkår.

### 4.3.3 Elbiler

På Figur 14 er antallet af elbiler i Højt og Lavt scenarie<sup>10</sup> indtegnet sammen med scenarier for udrulning af elbiler i Danmark fra (Energinet.dk et al, 2013)<sup>11</sup>.

I det Høje scenarie forudsættes lidt over en halv million elbiler i 2030, hvilket svarer til 20% af transportbehovet for personbiler. Til sammenligning forudsætter Energistyrelsen Basisfremskrivning 2015 (ENS 2015) kun ca. 10.000 elbiler i 2025. Den store forskel indikerer, at fremskrivninger af elbilsbestanden er meget usikker.

**Figur 14** Elbiler i Højt og Lavt scenarie samt tidligere scenarier for elbiler



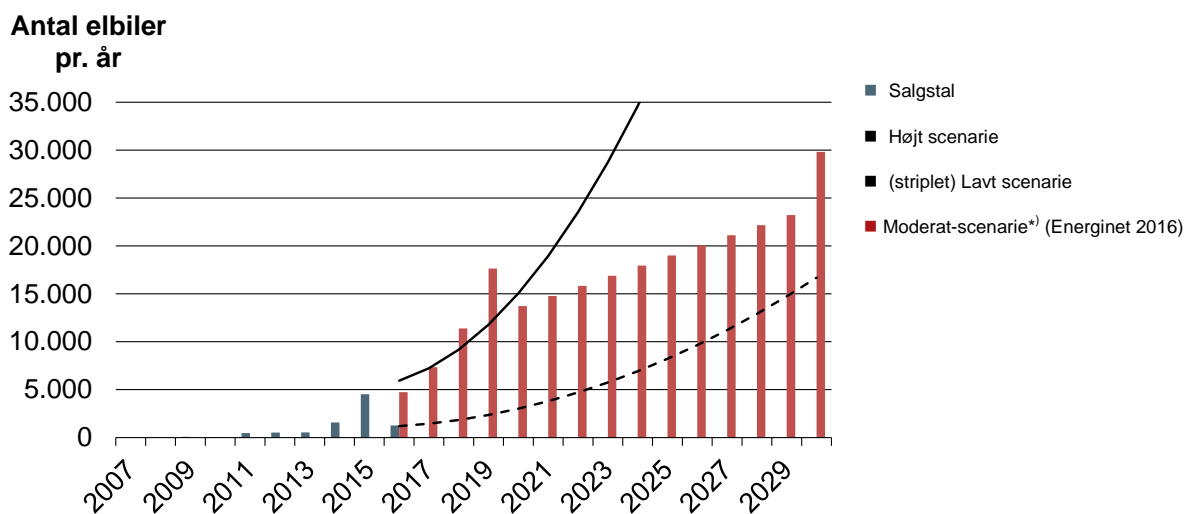
### Salgstal og økonomi

På **Figur 15** er det historiske salgstal sammenlignet med Energinet.dk's Analyseforudsætninger 2016 (som svarer til "Moderat" scenariet i **Figur 14**).

<sup>9</sup> Energistyrelsens Energiproducenttælling 2015

<sup>10</sup> Omregnet fra elforbrug til antal vha. årligt kørselsbehov på 3 MWh pr. elbil

<sup>11</sup> "Manglende gennembrud", "Moderat" og "Alle mands eje" er fra "Scenarier for udrulning af elbiler i Danmark" (Energinet.dk et al, 2013). "Moderat scenarie" svarer til Energinet.dk's Analyseforudsætninger 2016 frem til 2030.

**Figur 15** Elbiler salgstal 2007-sep. 2016 og forventninger i (Energinet.dk 2016)<sup>12</sup>

Nybilssalget i Danmark er på ca. 180.000 privatbiler pr. år<sup>13</sup>. Salgstallet for elbiler steg fra et niveau omkring 500 solgte biler pr. år i 2011-2013 til hhv. ca. 1.500 i 2014 og ca. 4.500 i 2015 (heraf ca. 2.700 Teslaer). Efter ændringen af registreringsafgift for elbiler ved årsskiftet 2015/16 er salgstallet faldet til ca. 1300 elbiler i 2016.

Det gennemsnitlige salgstal fra de seneste tre år på godt 2000 elbiler pr. år skal tidobles i løbet af de næste ti år for at følge Energinet.dk's fremskrivning.

I det Høje scenarie skal der ske en tidobling af salgstallet inden for de næste fem år, således at elbiler udgør over 10 % af nybilssalget. Ydermere skal salget nå ca. 85.000 biler pr. år i 2030, hvilket svarer til tæt på halvdelen af nuværende nybilssalg. Såfremt der ikke ønskes fossile biler i 2050, skal den sidste nye fossile bil være solgt senest i 2035, hvis levetiden af biler antages at være 15 år.

Der er en række faktorer bl.a. tilgængelig infrastruktur til opladning, som afgør hvornår folk vælger at købe en elbil i stedet for en konventionel bil, hvilket f.eks. er beskrevet i (Energinet.dk et al 2013). Brugerøkonomien spiller en væsentlig rolle, og den afgøres for elbilen i høj grad af batteriprisen og hvorledes registreringsafgiften på personbiler er udformet.

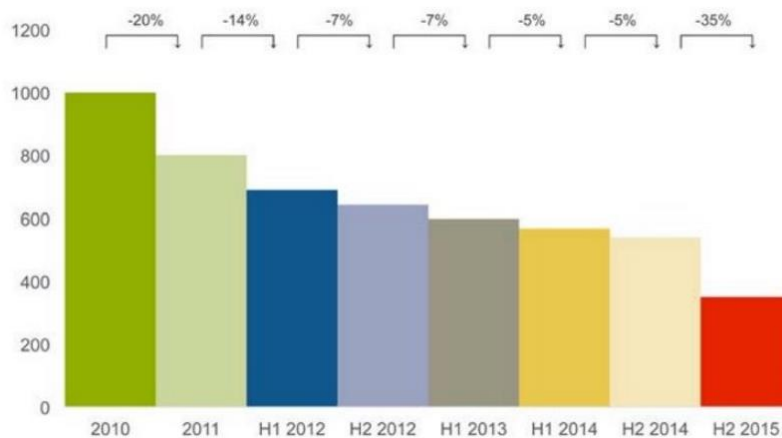
Batteriprisen er faldet betydeligt de seneste fem år, som det ses på **Figur 16** fra et niveau omkring \$1000/kWh til \$350/kWh.

<sup>12</sup> Salgstal beregnet ud fra Energinet.dk Analyseforudsætninger 2016 for samlet elforbrug til elbiler og omregning til antal elbiler via gennemsnitlig elforbrug pr. bil på 3 MWh/år.

<sup>13</sup> Gennemsnit fra 2010-2015 er 180.000 nyregistreringer for personbiler (kilde: De danske bilimportører, <http://www.bilimp.dk/statistics/index.asp>)

**Figur 16** Prisudvikling (dollar/kWh) for elbilsbatterier 2010-2015

Kilde: Bloomberg New Energy Finance, 2016, "Global Trends in Renewable energy 2016"



Ved et niveau på \$100-150 /kWh vurderer flere analyser, at elbiler bliver konkurrencedygtige med konventionelle biler. Tidshorizonten, før denne produktionspris nås, vurderes til alt fra 2020-2030, men vil afhænge af innovation, tekniske gennembrud og produktionsvolumen. De første storskala-fabrikker til batteriproduktion vil øge den nuværende samlede batteriproduktionskapacitet betydeligt<sup>14</sup>.

Batteriprisen er også afgørende for økonomien i elektrificering af tung transport. Der lanceres i disse år flere modeller af elektriske lastbiler, busser og skibe, mens elektriske fly er i et meget tidligt udviklingsstadium.

#### 4.3.4 Delkonklusion

Et øget elforbruget til elektrificering afhænger af, at eldrevne teknologier bliver købt af slutbrugerne. Salgstallene for individuelle varmepumper og elbiler indikerer, at udviklingen skal ændres markant for at følge et Højt eller middel scenarie. Udviklingen inden for store eldrevne varmepumper til fjernvarme-produktion er også langsom, da der de seneste år i den decentrale fjernvarme primært er investeret i kedelanlæg baseret på afgiftsfritaget biomasse.

Samlet set peger den historiske udvikling målt på salgstal for varmepumper og elbiler i retning af et fremtidigt Lavt scenarie for elektrificering forudsat nuværende økonomiske rammevilkår fastholdes.

Fokus i dette notat er på de tekniske potentialer. I en opfølgende analyse vil vi kigge nærmere på økonomien i de forskellige løsninger og se på hvilke rammevilkår og teknologiske udviklinger, der kræves for at eldrevne teknologier slår igennem.

<sup>14</sup> [https://www.tesla.com/sites/default/files/blog\\_attachments/gigafactory.pdf](https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_attachments/gigafactory.pdf)



# 5 CO<sub>2</sub>-reduktion fra elektrificering

---

CO<sub>2</sub>-fortrængningen fra elektrificering afhænger af effektiviteten ved brug af el til levering af fremdrift eller varme ift. konventionelle motorer eller kedler samt det erstattede brændsel. Fortrængningen pr. kWh nyt elforbrug er størst, når individuelle varmepumper erstatter oliefyr efterfulgt af elbiler til udskiftning af benzin-/dieslbiler.

Danmark har et drivhusgasreduktionsbehov (manko) på i størrelsesordenen 35 mio. ton kumuleret over perioden 2021-2030 ift. Basisfremskrivningen. Dette tal er fortsat usikkert og afhænger bl.a. af resultatet af igangværende forhandlinger i EU.

En markant elektrificering af slutforbrug frem mod 2030 kan potentielt levere over halvdelen af den nødvendige reduktionsindsats i den ikke-kvotebelagte sektor fra 2021-2030. Udviklingen i dag peger dog mod et væsentligt lavere niveau for elektrificering og dermed et begrænset bidrag.

Nyt elforbrug fra elektrificering kan give anledning til en CO<sub>2</sub> effekt i elproduktionen. Hvor stor denne er afhænger af, hvor hurtigt den grønne omstilling i elproduktionen sker. I dette notat regnes med et spænd på 70-350 g/kWh for CO<sub>2</sub>-intensitet i elproduktionen. CO<sub>2</sub>-fortrængning pga. elektrificering er ca. 700 gCO<sub>2</sub>/kWh, hvilket betyder at selv ved den øvre værdi for CO<sub>2</sub>-intensitet i el opnås en betydelig reduktion i samlede drivhusgasudledninger ved elektrificering.

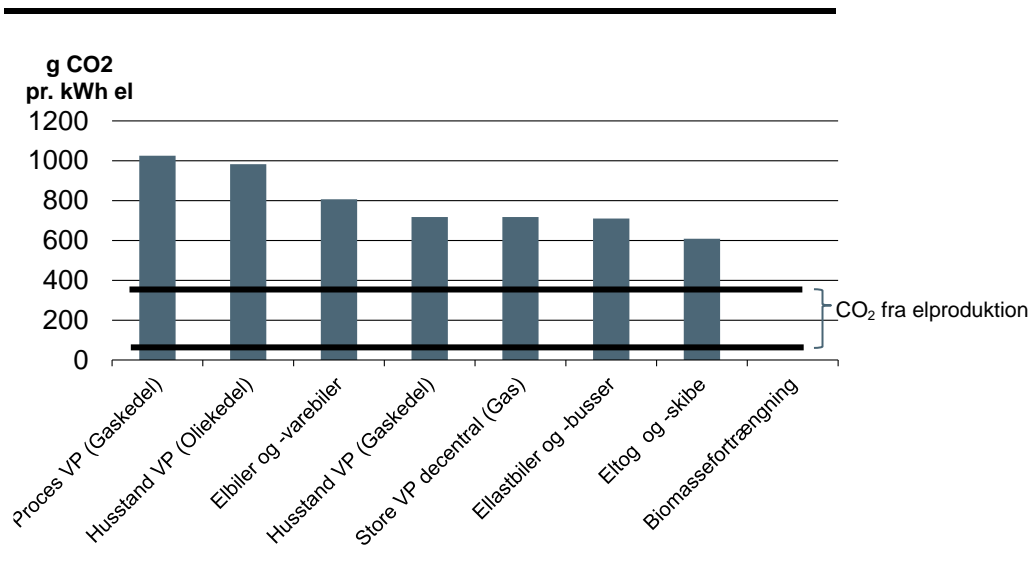
---

CO<sub>2</sub>-fortrængning er beregnet kumuleret for 2021-2030 for Højt og Lavt elektrificeringsscenariet. Først gennemgås hvor stor andel forskellige sektorer bidrager med af CO<sub>2</sub>-fortrængning i scenarierne.

## 5.1 CO<sub>2</sub>-fortrængning fra nyt elforbrug

CO<sub>2</sub>-fortrængning i transport og opvarmning afhænger af hvilken teknologi, der fortrænges (CO<sub>2</sub>-emission fra brændsel og virkningsgrad) samt effektiviteten af den eldvne teknologi. På **Figur 17** er vist hvor meget en kWh el fortrænger i forskellige sammenhænge.

**Figur 17** Fortrængt CO<sub>2</sub> fra forskellige kategorier af nyt elforbrug samt interval for CO<sub>2</sub> fra elproduktionen.



**Figur 17** Fortrængning af CO<sub>2</sub> pga. øget elforbrug indenfor forskellige elektrificeringspotentialer, som er vist med teknologi og i parentes hvilket brændsel der fortrænges. De sorte vandrette linjer viser et spænd for CO<sub>2</sub>-emission fra elproduktionen til elektrificering på 70-350 g/kWh, hvilket uddybes i kapitel 5.3.

Varmepumper i procesindustrien, der fortrænges gaskedler, har i gennemsnit den højeste CO<sub>2</sub>-fortrængning pr. kWh elforbrug. Dette skyldes den meget høje gennemsnitlige COP-værdi fra varmepumper i procesindustrien.

Individuelle varmepumper, som erstatter oliefyr, har også meget høj CO<sub>2</sub>-fortrængning pr. kWh elforbrug, hvilket både skyldes høj CO<sub>2</sub>-emissionen fra olieafbrænding og høj virkningsgradforbedringen fra kedel til varmepumpe.

Elbiler har også høj CO<sub>2</sub>-fortrængning pr. kWh elforbrug, hvilket igen skyldes en høj CO<sub>2</sub>-udledning fra benzin/diesel og stor virkningsgradforbedring ved at gå fra forbrændingsmotor til elmotor/batteri.

Fortrængning af gas frem for olie/benzin/diesel samt fortrængning af forbrændingsmotorer med højere virkningsgrad (i tung transport) giver generelt lavere CO<sub>2</sub>-fortrængning pr. kWh elforbrug. Biomasse er regnet CO<sub>2</sub>-neutralt og elektrificering af formål, hvor der i dag anvendes biomasse medfører derfor ingen CO<sub>2</sub>-fortrængning.

De vandrette linjer på Figur 17 viser intervallet for, hvor meget CO<sub>2</sub>-emission elproduktion til elektrificering kan give anledning til (70-350 g/kWh). CO<sub>2</sub>-fortrængningen er større for alle elektrificeringskategorierne end den øvre grænse på intervallet, hvilket antyder, at elektrificering udover at yde et stort bidrag til reduktion af Non-ETS emissioner også vil bidrage til at reducere emissionerne samlet set. Dette skyldes at en del af det ekstra elforbrug kan produceres ved brug af vedvarende energikilder som fx vindkraft.

Der redegøres for valget af udledningsfaktoren på 70-350 g/kWh elproduktion i kapitel 5.3.

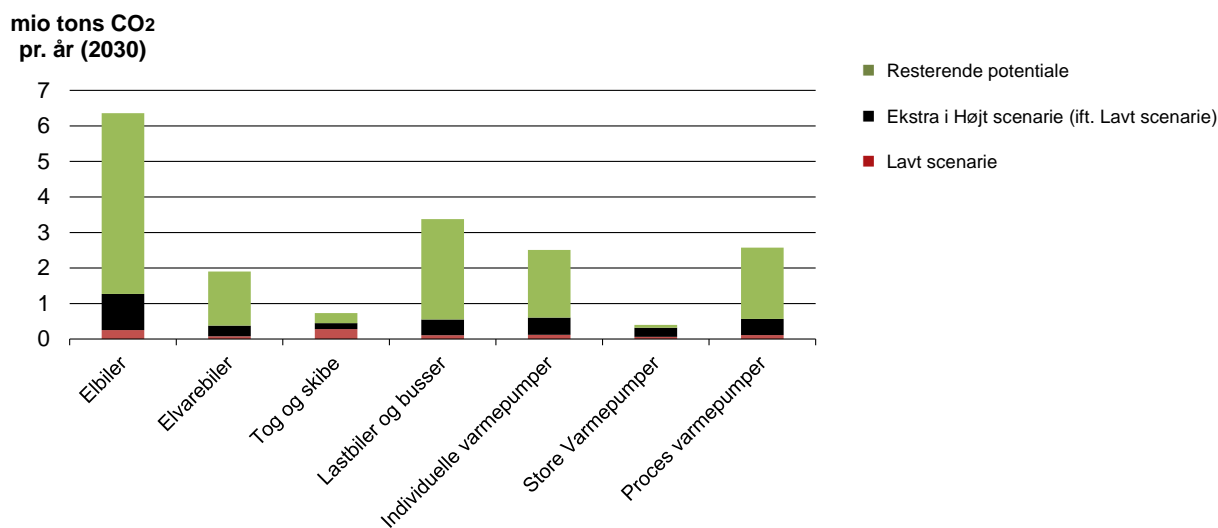
## 5.2 CO<sub>2</sub>-fortrængning udenfor kvotesektor 2021-2030

### CO<sub>2</sub>-fortrængning i 2030

Elektrificeringens bidrag til CO<sub>2</sub>-fortrængning uden for kvotesektoren i 2030 er vist for de to scenarier i **Figur 18**. De røde søjler viser fortrængning ved lav elektrificering, og de sorte viser det additionelle bidrag ved høj elektrificering. De grønne søjler viser den resterende CO<sub>2</sub> emission i 2030.

CO<sub>2</sub>-fortrængningen udenfor kvotesektoren i Lavt og Højt scenariet er hhv. 1,0 og 4,1 mio tons/år i 2030. Restpotentialet for CO<sub>2</sub>-fortrængning ud over det Høje scenarie er ca. 14 mio. tons/år i 2030.

**Figur 18** CO<sub>2</sub>-fortrængning udenfor kvotesektoren i 2030 i hhv. Højt og Lavt elektrificeringsscenarie samt det resterende potentiale for fortrængning.



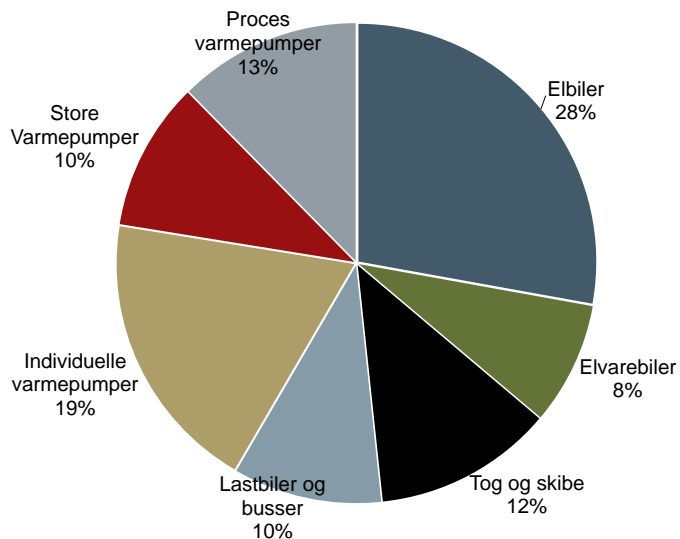
Det største sektor-potentiale for elektrificering ift. CO<sub>2</sub>-fortrængning er privat-transport. Generelt er der størst resterende potentiale for CO<sub>2</sub>-fortrængning i transportsektoren. I Højt scenarie antages at størstedelen af CO<sub>2</sub> fortrænges fra decentrale fjernvarme samt tog-drift inden 2030. I individuel varme vil det resterende potentiale også kunne dækkes med varmepumper, men det vil primært være konvertering af opvarmning med naturgas eller biomasse. I procesindustrien er der fortsat et stort potentiale for yderligere CO<sub>2</sub>-fortrængning efter 2030, men pga. krav til procestemperatur vil elektrificering kun kunne dække en mindre andel.

### Elektrificeringsbidrag til CO<sub>2</sub>-fortrængning 2021-2030

På **Figur 19** er resultatet for Højt scenarie vist som kumulerede fortrængninger fra 2021-2030 udenfor kvotesektoren.

Transport og opvarmning udgør hver ca. halvdelen af de kumulerede CO<sub>2</sub>-besparelser, der fordeler sig på fire store elementer: Elbiler, øvrig transport, individuelle varmepumper og store varmepumper i fjernvarme og proces.

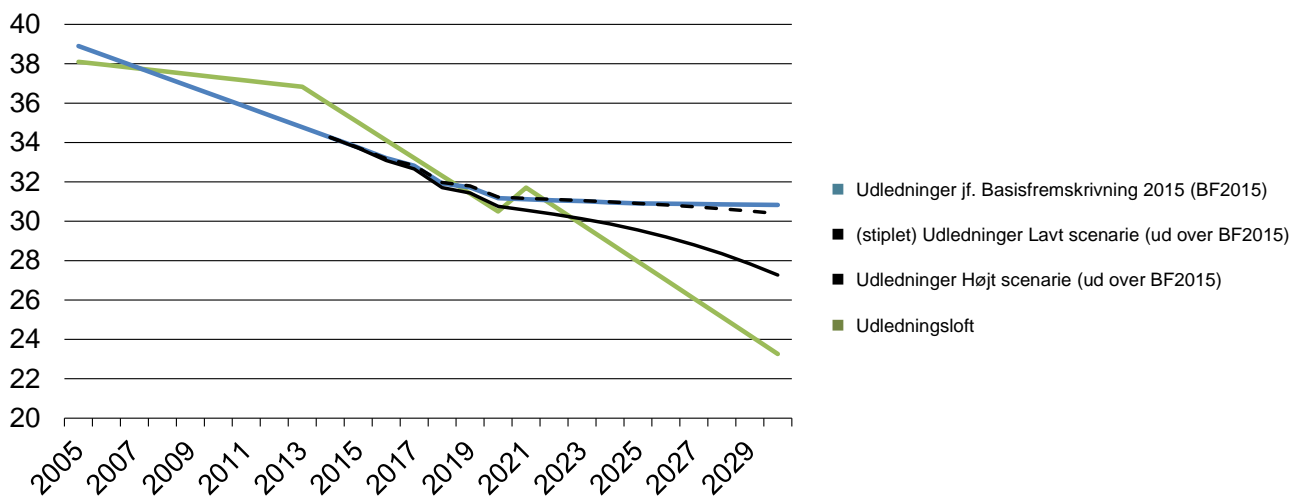
**Figur 19** Kumuleret CO<sub>2</sub> fortrængning 2021-2030 uden for kvotesektoren - Højt scenarie



På Figur 20 er indtegnet den yderligere CO<sub>2</sub>-effekt i Non-ETS ud over Basisfremskrivningen 2015 (BF2015) i hhv. det Lave og Høje elektrificeringsscenarie. Udledningsloft er forklaret ifm. Figur 5 i indledningen, hvor det også fremgår, at mankoen i BF2015 er estimeret til ca. 35 mio. ton CO<sub>2</sub> fra 2021-2030.

**Figur 20** CO<sub>2</sub>-udledning i non-ETS i Danmark ifølge Basisfremskrivning 2015 (ENS 2015) frem til 2030 vist sammen med forventet udledningsloft og yderligere reduktion i Lavt og Højt scenarie

mio ton CO<sub>2</sub>



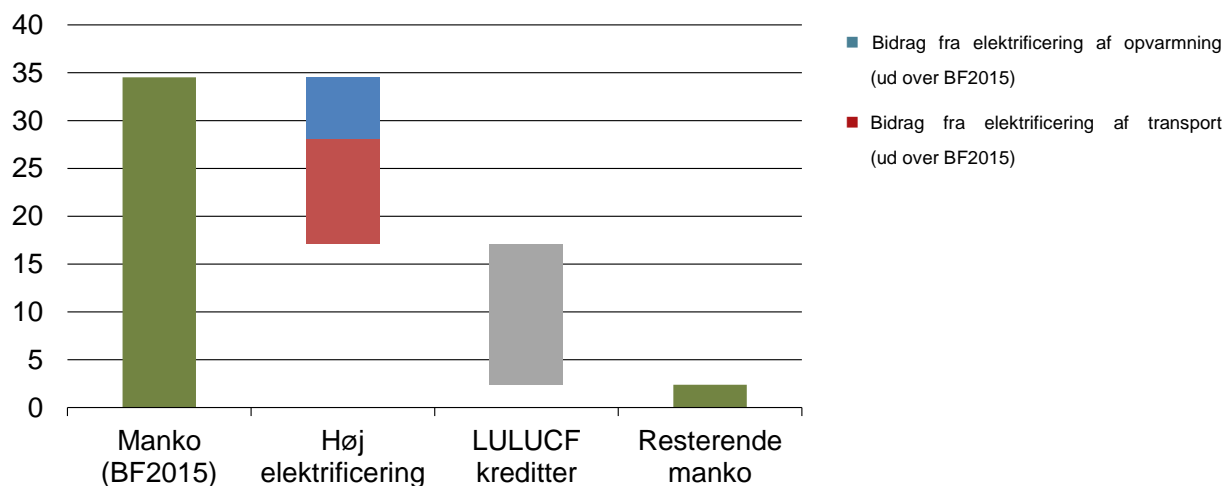
I det Høje elektrificeringsscenarie kan opnås over halvdelen af non-ETS reduktionerne, der er påkrævet fra 2021-2030, idet mankoen sænkes med ca. 18 mio ton CO<sub>2</sub> (ud over BF2015) fra ca. 35 til 17 mio ton CO<sub>2</sub>.

I det Lave scenarie leveres et meget beskedent reduktionsbidrag i ikke-kvotesektoren på ca. 1 mio. ton, ud over hvad der forudsættes i Basisfremskrivningen 2015.

På Figur 21 er vist udgangspunkt i mankoen i Basisfremskrivning 2015 og herfra fratrukket reduktioner ved Høj elektrificering samt LULUCF kreditter (jf. Tabel 2), således at mankoen efterfølgende er meget lav.

**Figur 21** Yderligere behov for CO<sub>2</sub>-reduktioner (manko) i non-ETS 2021-2030 regnet ift. Basisfremskrivning 2015 og de to scenarier for elektrificering

mio tons CO<sub>2</sub>



### CO<sub>2</sub>-fortrængning i perioden efter 2030

Selvom reduktionsforpligtelsen skal ses over perioden 2021-2030 er slutpunktet 2030 ikke helt uden betydning. I lyset af at EU har sat sig ambitiøse langsigtede mål, må det forventes, at Danmark også får en reduktionsforpligtelse i perioden efter 2030. Hvordan man opfylder sin forpligtelse i 2021-30, påvirker dermed hvor gode forudsætninger man har for at klare den næste periodes reduktionskrav.

De forskellige scenarier har hver især et ret forskelligt udgangspunkt for perioden efter 2030. I det Høje scenarie er der gennemført en række strukturelle CO<sub>2</sub>-reduktioner, der vil fortsætte efter 2030 og give et bedre afsæt til målopfølgelsen i den efterfølgende forpligtelsesperiode (2031-2040).

Som det ses af Figur 20, vil man således i Høj-elektrificeringsscenariet i 2030 kun ligge ca. 4 mio. ton over slutpunktet på udledningsloftet – og dermed det forventede startpunkt i næste forpligtelsesperiode startende i 2031. I Lav-elektrificeringsscenariet og Basisfremskrivningen 2015 vil man ligge ca. 7-8 mio. ton over loftet. Et højt elektrificeringsscenarie giver m.a.o. et bedre udgangspunkt for at indfri klimamålene i den efterfølgende periode. Hvorimod løsning af forpligtelsen i Non-ETS i perioden 2021-2030 med hovedvægt på brug af fleksibilitetsmekanismer giver et dårligere udgangspunkt for at indfri klimamålene i den efterfølgende periode.

### 5.3 CO<sub>2</sub>-effekt i kvotesektoren ved elektrificering

Danmark er med i det europæiske kvotehandelssystem (ETS), der sætter et samlet loft over udledningerne i EU. Derfor vil en merudledning i ETS i Danmark i princippet modsvares af en mindre udledning et andet sted i Europa, da kvotemængden er fast. Med denne logik kan der argumenteres for, at al ny elproduktion er CO<sub>2</sub> neutral, da eventuelle udledninger ved produktionen i Danmark modsvares af reduktioner andetsteds i EU.

Der er imidlertid et meget stort antal kvoter i cirkulation. Et kvoteoverskud i størrelsesordenen 3 mia. ton CO<sub>2</sub> har bragt CO<sub>2</sub> kvotesystemet ud i en krise, hvor investortilliden og prisen på CO<sub>2</sub> kvoter er lav. Frem til en reform, der reducerer kvoteoverskuddet i ETS, kan der argumenteres for at udledninger fra elsektoren er additionelle. Udfordringerne for kvotemarkedet og forslag til reform behandles i notatet (Dansk Energi 2016e).

ETS udledningerne har dog politisk og administrativt en anden karakter end udledningerne uden for kvotesektoren, idet Danmark ikke er pålagt nogen forpligtelse udefra til at reducere ETS udledningerne.

Hvor meget CO<sub>2</sub> der udledes i ETS som følge af elektrificering, afhænger af hvor hurtigt man udbygger med vedvarende energi (VE) til at dække den øgede elforbrug. Jo længere tid man er om at udbygge VE-kapaciteten i takt med efterspørgslen, jo mere CO<sub>2</sub>-emission vil fx elektrificering bidrage med, idet fossilt fyrede værker på den korte bane vil dække merforbruget. Omvendt vil ny VE-elproduktion kort tid efter nyt elforbrug give anledning til lav eller ingen CO<sub>2</sub>-emission fra det nye elforbrug.

Dansk Energi har udarbejdet et notat om effekten af et øget elforbrug (Dansk Energi 2016d) på udledninger fra elsektoren. Hvis Danmark holder fast i en målsætning om en elsystem baseret på ren vedvarende energi<sup>15</sup> i 2050 vil et øget elforbrug på sigt blive dækket af udbygning med vedvarende energi. Den umiddelbare effekt af et øget elforbrug vil være øget fossil elproduktion, men over tid vil denne produktion blive grønnere. Med denne metode når vi frem til en værdi på 325 gCO<sub>2</sub>/kWh produceret el. Jo tættere man kommer på målet (fx 2050) jo lavere vil klimabelastningen fra elproduktion være, idet der er færre år til elproduktionen finder sted helt uden udledning af CO<sub>2</sub>.

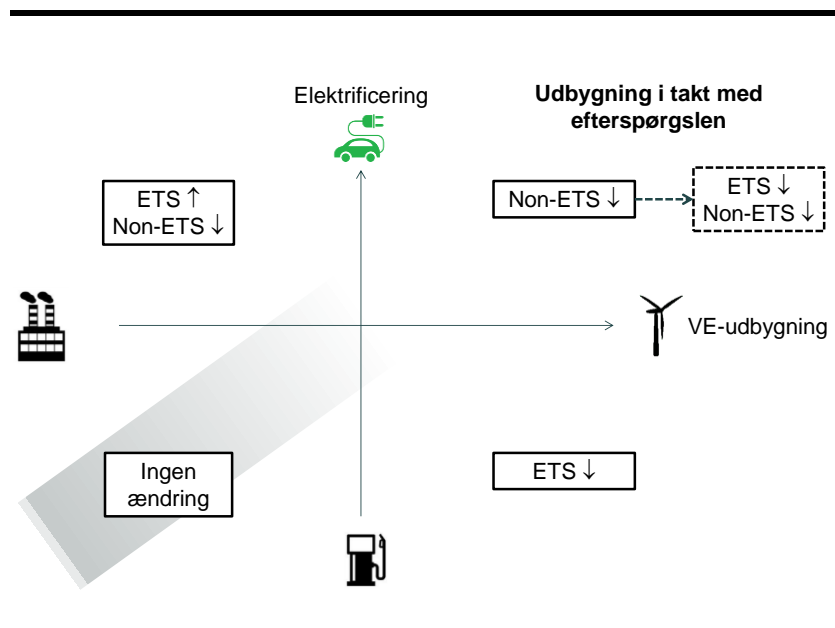
De 325 g/kWh indbefatter, at VE-udbygningen først er fuldt tilpasset i år 2050. Tilpasses VE-produktionen derimod over en periode frem til 2030, så det ekstra elforbrug er helt dækket af vedvarende energi i 2030, så vil klimabudgetvirkningen falde til 65 g/kWh for elektrificering i dag og 0 g/kWh for elektrificering i 2030.

De hhv. 65 og 325 g/kWh er udregnet for *elproduktion*. Indregnes nettab til distribution bliver værdierne ca. 70 og 350 g/kWh *elforbrug*. I nærværende notat bliver spændet på 70-350 g/kWh benyttet i kapitel 0 til at vurdere klimaeffekten af elektrificering i dag og de kommende år.

På **Figur 22** illustreres hvordan energisystemets udvikling kan beskrives på to akser. Den lodrette beskriver elektrificeringen (dvs. elbiler eller benzinbiler, varmepumper eller oliefyr). Den vandrette akse beskriver hvad der sker i elsystemet (VE eller fossil elproduktion).

<sup>15</sup> Et energisystem uden udledning af CO<sub>2</sub> kan også opnås ved brug af nul-emissions energikilder som fx kernekraft eller CCS.

**Figur 22** Kombinationer af elproduktion og forbrug og deres effekt på CO<sub>2</sub>-udledninger i non-ETS og ETS.



Der er tegnet et bånd ind, der viser udbygning i takt med efterspørgslen, hvor VE udbygningen afhænger af, om der kommer gang i elektrificeringen. I dette scenarie vil man realisere Non-ETS reduktioner uden at øge emissionerne i ETS, da det ekstra elforbrug forsynes af VE. Udbygges der ikke VE i takt med efterspørgslen vil elektrificering stadig føre til et fald i Non-ETS emissioner, men samtidig øge ETS emissionerne.

Parallelt med elektrificeringen og udbygningen med VE for at dække det nye elforbrug dekarboniseres elsektoren løbende gennem en yderligere VE-udbygning, der gradvist forsyner resten af det øvrige elforbrug, så det langsigtede mål om et fossilt uafhængigt energisystem realiseres. Dette er vist i figuren med den stiplede kasse, der viser den langsigtede udvikling med fald i både ETS og Non-ETS emissioner.

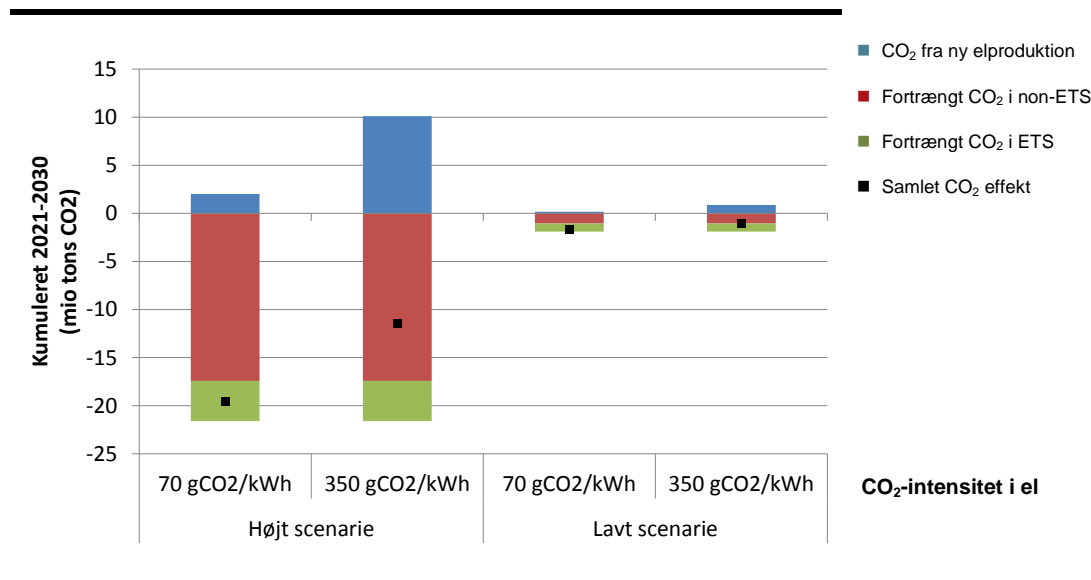
Udviklingen af det danske energisystem befinder sig pt. i det nederste højre hjørne med VE-udbygning og en meget langsom elektrificering. Det giver markante reduktioner i ETS, men bidrager ikke til at indfri vores Non-ETS mål.

Den sti, der er beskrevet i ovenstående diskussion med 70-350 g/kWh, er en, hvor man først bevæger sig lodret og herefter mod højre. Størrelsen af ETS emissioner afhænger af hvor hurtigt, der rykkes mod højre.

## 5.4 Samlet effekt på CO<sub>2</sub> udledninger

På **Figur 23** er CO<sub>2</sub> fortrængningen i non-ETS og ETS holdt op mod CO<sub>2</sub>-emission fra elproduktionen vist med hhv. det nedre (70 g/kWh) og øvre (350 g/kWh) estimat for CO<sub>2</sub>-indhold i el til elektrificering.

**Figur 23** Kumuleret 2021-2030 opgørelse af fortrængt CO<sub>2</sub> i non-ETS og ETS samt CO<sub>2</sub> fra ny elproduktion (vist med CO<sub>2</sub>-indhold i el på hhv. 70 g/kWh og 350 g/kWh) i det Høje og Lave scenarie.



Resultatet for det Høje scenarie viser, at der kumuleret 2021-2030 fortrænges ca. 18 mio. tons CO<sub>2</sub> i non-ETS (rød)<sup>16</sup> og 4 mio. ton i ETS (grøn), altså samlet ca. 22 mio. tons CO<sub>2</sub>. Dette svarer til en fortrængning på ca. 700 gCO<sub>2</sub> pr. kWh nyt elforbrug<sup>17</sup>.

Merudledningen af CO<sub>2</sub> fra elproduktionen til det nye forbrug er mellem 2-10 mio. ton CO<sub>2</sub> (blå) afhængig af antagelsen for CO<sub>2</sub>-indhold i el. Dette giver en samlet reduktion på 12-20 mio. ton (sort prik).

Ved det øvre estimat (350 gCO<sub>2</sub>/kWh) for CO<sub>2</sub> indhold i el fortrænges ca. 2 gange den mængde CO<sub>2</sub> i non-ETS som elproduktionen giver anledning til i ETS. Ved det nedre estimat (70 gCO<sub>2</sub>/kWh) er tilsvarende tal ca. 10 gange højere fortrængning i non-ETS end udledning i ETS.

I det lave elektrificeringsscenarie er der en mere beskedne reduktionseffekt af elektrificering på godt samlet ca. 2 mio. ton CO<sub>2</sub> udover basisfremskrivning 2015. Den merudledning af CO<sub>2</sub> fra elproduktion, det giver anledning til, er ca. 0,2 til 1 mio. ton.

<sup>16</sup> Dette er relativt til basisfremskrivning 2015, som rummer en beskedne elektrificering.

<sup>17</sup> Dette gælder med den sammensætning og indpasningsprofiler af elforbrug som findes i det Høje scenariet – som det er vist på Figur 14 vil nyt elforbrug medføre forskellig CO<sub>2</sub>-fortrængning afhængig af hvilket brændsel og virkningsgrad der erstattes.



# 6 Bilag

## 6.1 Antagelser for elektrificeringskategorier

I tabellen nedenunder er vist antagelser for de forskellige elektrificeringskategorier.

Der er også vist kategorier som ikke antages at få yderligere elektrificering (kategorier uden indfasningsprofil), men som er medtaget for at repræsentere hele det nuværende energiforbrug.

**Tablet 3** Antagelser til hver elektrificeringskategori

| Elektrificeringskategori                | Fortrængt brændsel  | Faktisk forbrug (PJ) | Nettoenergiforbrug (PJ) | Virkningsgrad |          | Andel elektrificering 2030 |               | Indfasningsprofil |
|---|---------------------|----------------------|-------------------------|---------------|----------|----------------------------|---------------|-------------------|
|   |                     | 2014                 | 2030                    | Ny fossil     | Eldrebet | Lavt scenarie              | Højt scenarie |                   |
| Elbiler                                 | Benzin              | 98                   | 23                      | 0,25          | 0,8      | 4%                         | 20%           | Ekspontiel        |
| Elvarebiler                             | Diesel              | 22                   | 6                       | 0,25          | 0,8      | 4%                         | 20%           | Ekspontiel        |
| Lastbiler                               | Diesel              | 21                   | 8                       | 0,3           | 0,8      | 4%                         | 20%           | Ekspontiel2020    |
| Busser                                  | Diesel              | 7                    | 2                       | 0,3           | 0,8      | 4%                         | 20%           | Ekspontiel        |
| Vejtransport biofuel                    | Biomasse            | 8                    | 2                       | 0,25          | 0,8      | 0%                         | 0%            |                   |
| Traktorer (landbrug)                    | Olie                | 18                   | 2                       | 0,2           | 0,8      | 1%                         | 5%            | Lineær            |
| Tog                                     | Diesel              | 3                    | 1                       | 0,35          | 0,8      | 77%                        | 77%           | Lineær            |
| Tog (eldrift)                           | Nuværende elforbrug | 1                    | 1                       | 0,8           | 0,8      | 100%                       | 100%          |                   |
| Skibe                                   | Diesel              | 6                    | 2                       | 0,35          | 0,8      | 10%                        | 50%           | Ekspontiel        |
| Luffart + forsvar                       | Diesel              | 41                   | 16                      | 0,35          | 0,8      | 0%                         | 0%            |                   |
| Indiv VP (husholdninger)                | Naturgas            | 26                   | 19                      | 1             | 3,5      | 4%                         | 20%           | Lineær            |
| Indiv VP (husholdninger)                | Olie                | 10                   | 8                       | 1             | 3,5      | 10%                        | 50%           | Lineær            |
| Indiv VP (husholdninger)                | Biomasse            | 43                   | 32                      | 1             | 3,5      | 4%                         | 20%           | Lineær            |
| Indiv VP (husholdninger)                | Nuværende elforbrug | 6                    | 8                       | 1,5           | 3,5      | 100%                       | 100%          |                   |
| Indiv VP (handel, offentlig)            | Naturgas/bio        | 11                   | 11                      | 1             | 3,5      | 2%                         | 10%           | Lineær            |
| Indiv VP (industri)                     | Naturgas            | 6                    | 6                       | 1             | 3,5      | 2%                         | 10%           | Lineær            |
| Store VP fjernvarme (dec) (non-ETS)     | Naturgas            | 7                    | 7                       | 1             | 3,5      | 16%                        | 80%           | Lineær            |
| Store VP fjernvarme (dec) (ETS)         | Naturgas            | 13                   | 13                      | 1             | 3,5      | 10%                        | 50%           | Lineær            |
| Store VP fjernvarme (cen)               | Kul/bio KV          | 64                   | 80                      | 1,25          | 3,5      | 1%                         | 5%            | Ekspontiel2020    |
| Store VP fjernvarme (dec) (non-ETS)     | Biomasse            | 18                   | 18                      | 1             | 3,5      | 4%                         | 20%           | Lineær            |
| Store VP fjernvarme (dec) (ETS)         | Biomasse            | 12                   | 12                      | 1             | 3,5      | 4%                         | 20%           | Lineær            |
| Proces-VP (ETS)                         | Biomasse            | 2                    | 2                       | 0,9           | 4,5      | 5%                         | 23%           | Ekspontiel        |
| Proces-VP (ETS)                         | Naturgas            | 11                   | 10                      | 0,9           | 4,5      | 5%                         | 23%           | Ekspontiel        |
| Proces-VP (ETS)                         | Olie                | 7                    | 6                       | 0,9           | 4,5      | 5%                         | 23%           | Ekspontiel        |
| Proces-VP (non-ETS)                     | Naturgas            | 17                   | 15                      | 0,9           | 4,5      | 5%                         | 23%           | Ekspontiel        |
| Proces-VP (non-ETS)                     | Olie                | 10                   | 9                       | 0,9           | 4,5      | 5%                         | 23%           | Ekspontiel        |
| Proces-VP (non-ETS)                     | Biomasse            | 4                    | 3                       | 0,9           | 4,5      | 5%                         | 23%           | Ekspontiel        |
| Proces VP (industri-gartneri, landbrug) | Kul KV              | 10                   | 10                      | 1             | 4,5      | 4%                         | 20%           | Ekspontiel        |
| Samlet                                  |                     | 501                  | 332                     |               |          |                            |               |                   |

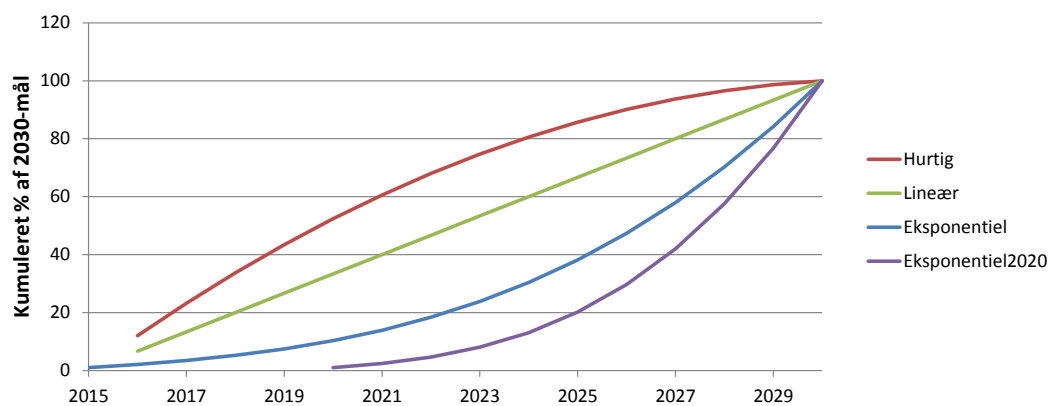
Kilder til data for faktisk forbrug og nettoenergiforbrug stammer primært fra baggrundsdata til Energistyrelsen Basisfremskrivning 2015 (BF2015), herunder transportmodellen, samt Energistatistik 2014.

- Nettoforbruget til individuel opvarmning og procesvarme er fordelt på brændsler proportionalt med det faktiske brændselsforbrug 2014.
- Virkningsgrad er omtrentlige estimater for hhv. ny fossil og eldrevet teknologi.
- Andelen elektrificering 2030 viser den del af nettoenergiforbruget som ny elektrificering antages at udgøre i hhv. lavt og højt scenarier.

Nedenunder gennemgås først betydningen af den valgte indfasningsprofil og derefter uddybes antagelser for visse af elektrificeringskategorierne.

### Indfasningsprofiler

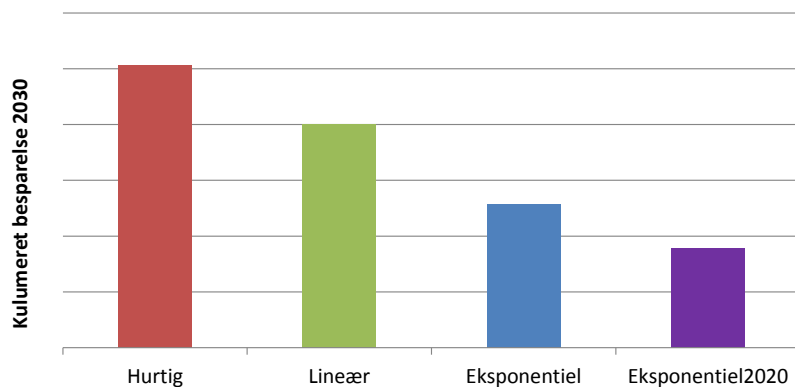
Nedenunder ses profilen (stien) 2015-2030 af indfasning af det 2030-mål som er valgt for hver elektrificeringskategori.



Indfasningsprofilerne er valgt for hver kategori afhængig af teknologimodenhed og udbredelsestakt. Etablerede teknologier vil typisk have lineære indfasningsprofiler, da der bliver solgt et fast antal hvert år. Omvendt vil nye teknologier indfases gradvist efter eksponentielle forløb i takt med, at deres omkostninger falder og markedet modnes. For helt umodne teknologier går der nogle år før teknologien kommer på markedet. Det er vist med forløbet Eksponentiel2020, der antager indfasning fra 2020.

Profilen Hurtig kunne gælde for et forløb, hvor der er ved at ske en mætning. Dette forløb er ikke anvendt for nogen af teknologierne i denne analyse.

Arealet under kurverne afgør den kumulerede CO<sub>2</sub>-besparelse, og det ses, at fx lineær indfasning bidrager væsentlig mere end eksponentielt forløb.



## Eldrift til tog

Fra Basisfremskrivning 2015 ses nedenstående forventning til diesel og elforbruget til tog frem mod 2030.

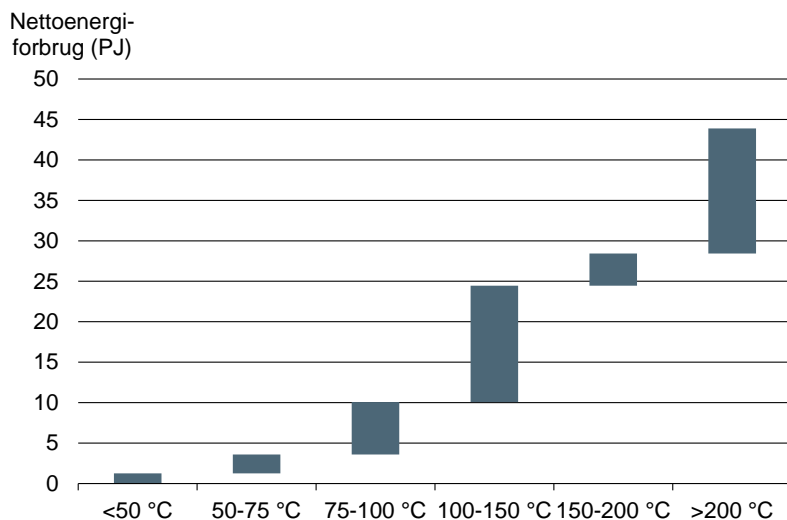
I både Høj og Lav elektrificeringsscenarioet forudsætter samme udvikling som Basisscenariet 2015.

| Togtype                  | Drivmiddel          | 2013         | 2030         | Udvikling 2013 til 2030 |             |
|--------------------------|---------------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------|
|                          |                     | Togkm (mio.) | Togkm (mio.) | Togkm (mio.)            | %           |
| Fjern- og regionaltog    | Diesel              | 36,7         | 5,4          | -31,4                   | -85%        |
| Fjern- og regionaltog    | Elektricitet        | 12,6         | 45,9         | 33,3                    | 264%        |
| S-tog                    | Elektricitet        | 16,9         | 15,8         | -1,1                    | -7%         |
| Metro                    | Elektricitet        | 4,5          | 9,8          | 5,2                     | 115%        |
| Andre tog (lokal baner m | Diesel              | 9,7          | 9,7          | 0                       | 0%          |
| Letbaner                 | Elektricitet        | 0            | 8,1          | 8,1                     | -           |
| Godstog                  | Diesel              | 3,2          | 0,3          | -2,9                    | -92%        |
| Godstog                  | Elektricitet        | 0,4          | 4,9          | 4,5                     | 1031%       |
| <b>I alt</b>             |                     | <b>84</b>    | <b>99,7</b>  | <b>15,7</b>             | <b>19%</b>  |
| <b>I alt</b>             | <b>Diesel</b>       | <b>49,6</b>  | <b>15,3</b>  | <b>-34,3</b>            | <b>-69%</b> |
| <b>I alt</b>             | <b>Elektricitet</b> | <b>34,5</b>  | <b>84,4</b>  | <b>50</b>               | <b>145%</b> |

Transportbehovet øges med 15,7 mio. km. Hvis alt nyt transportbehov (15,7 mio. km) antages at være dieseldrevet ville det øge 2013 niveauet fra 49,6 til 65,3 mio. km, hvilket anses som det samlede elektrificeringspotentiale frem mod 2030. Heraf forventes ca. 15,3 mio. km diesel-transport at være tilbage i 2030, hvilket giver en elektrificeringsandel på  $(65,3-15,3)/65,3 = 77\%$ .

## Store varmepumper i procesindustrien

Nettoenergiforbruget i fremstillingsvirksomheder (Energistyrelsen, februar 2016) fordelt på temperaturintervaller er vist på grafen nedenunder, og det ses at nettoforbruget er ca. 45 PJ.



### Varmepumper i industrien

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<br>C | Temperaturbehov<br>C | COP-<br>værdi | Varmelevering<br>TJ/år | Elforbrug<br>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 varmeleverance fra store varmepumper i industrien er opgjort til ca. 20 PJ/år. Den vægtede COP-værdi er ca. 4,5, hvilket er anvendt i analysen.

Det antages i analysen, at *halvdelen af det tekniske potentiale for store varmepumper i procesindustrien (dvs. 10 PJ) kan indfris inden 2030 i et Højt elektrificeringsscenario*. Dette vil givetvis kræve ændringer i rammevilkår og styrkelse af udviklingen indenfor højtemperaturvarmepumper.

10 PJ procesvarme fra varmepumper i 2030 svarer altså til ca. 23 % af det samlede nettoenergiforbrug (ca. 45 PJ), hvilket er den procentsats, der er anvendt i analysen. I det høje scenarie giver det et elforbrug på ca. 0,6 TWh i 2030 til store varmepumper i procesindustrien.

### Store varmepumper i fjernvarmen

I analysen er antaget følgende elektrificering af decentral fjernvarmeområder (både kraftvarmeværker og fjernvarmeværker):

25 PJ decentral fjernvarme i non-ETS:

- 80% af varme som i dag er naturgasforbrug ( 7 PJ).
- 20% af varme som i dag er biomasse/affald (18 PJ)

25 PJ decentral fjernvarme i ETS:

- 50% af varme som i dag er naturgasforbrug i ETS (13 PJ)
- 20% af varme som i dag er biomasse/affald i ETS (12 PJ)

Der er antaget højere andel varmepumper på små værker med naturgas (non-ETS) end store værker med naturgas (non-ETS).

### Baggrundsdata

Kilde: Energistyrelsen, Energiproducenttællingen 2015

Den danske fjernvarmeleverance er ca. 130 PJ, hvoraf ca. 80 PJ er i centrale fjernvarmeområder og 50 PJ er i decentrale fjernvarmeområder.

- Kraftvarmeproduktion: Kraftvarmeproduktion udgør ca. 100 PJ, og herudover er der i decentrale fjernvarmeområder brændselsbaseret kedeldrift på ca. 25 PJ og ca. 5 PJ produktion fra elpatroner og solvarme. Dette forhold mellem kraftvarme og kedeldrift varierer afhængig af elprisen.
- Brændselsforbrug:
  - I decentrale fjernvarmeområder er ca. 20 PJ naturgas og ca. 30 PJ andet brændsel primært biomasse/affald.
  - I centrale varmeområder er det blanding af biomasse og kul
- Kvotesektor: 50% af decentrale værker (ca. 25 PJ) findes i ETS og 50% i non-ETS (ca. 25 PJ).

Store varmepumper i de decentrale områder kan dermed fortrænge resterende ca. 20 PJ naturgas (fordelt på ca. 7 PJ i non-ETS og ca. 13 PJ i ETS). Herudover kan store varmepumper erstatte biomasse/affald baseret varme- produktion på op til 30 PJ (fordelt på ca. 18 PJ i non-ETS og ca. 12 PJ i ETS), men med meget lav CO<sub>2</sub>-fortrængning til følge.

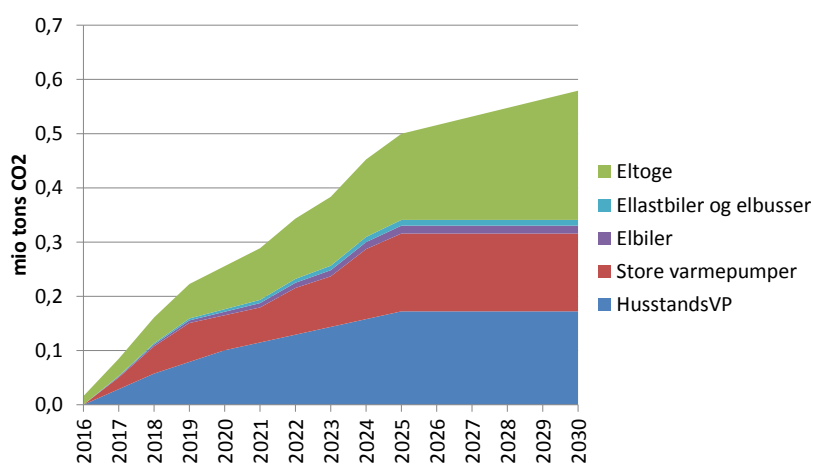
### Elektrificering i Basisscenariet 2015

På baggrund af informationer fra (ENS 2015) om elkøretøjer på vej, tog samt varmepumper er elektrificering i Basisfremskrivningen 2015 estimeret.

Der er frem til 2030 indregnet effekten af ekstra 6.000 elbiler og ekstra 300 elbusser og ellastbiler (kilde: (ENS 2015 Tabel 1)). Desuden ca. 0,4 TWh til eldrift af toge (kilde: ENS 2015 baggrundsark). Herudover ca. 50.000 ekstra individuelle varmepumper (0,25 TWh) og ca. 0,2 TWh ekstra elforbrug til store varmepumper i fjernvarme og proces (kilde: Jakob Stenby Lundsager, ENS).

Alle kategorier antages uændret efter 2025 undtagen elforbrug til tog.

Fra perioden 2021-2030 medfører elektrificeringen i BF2015 en CO<sub>2</sub>-fortrængning på kumuleret ca. 4,7 mio tons CO<sub>2</sub> samt kumuleret 6,8 TWh ekstra elforbrug over perioden.



# 7 Referencer

---

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Dansk Energi 2014</b>       | Dansk Energi, 2014, "Varmeløsninger i villaområder med naturgasfyrr" (Analyse nr 11)   |
| <b>Dansk Energi 2016d</b>      | Dansk Energi, 2016, Effekt af elforbrug på CO <sub>2</sub> -udledning (Analyse nr 26)  |
| <b>Dansk Energi 2016e</b>      | Dansk Energi, 2016, Udfordringer og muligheder for det europæiske kvotehandelssystem (Analyse nr 24)   |
| <b>Energinet.dk et al 2013</b> | Energinet.dk, Dansk Energi, DONG Energy, 2013 - "Scenarier for udrulning af elbiler i Danmark"   |
| <b>Energinet.dk 2016</b>       | Energinet.dk, 2016, "Analyseforudsætninger 2016-2040"  |
| <b>ENS 2014</b>                | Energistyrelsen (ENS), maj 2014 - "Energiscenarier frem mod 2020, 2035 og 2050"  |
| <b>ENS 2015</b>                | Energistyrelsen (ENS), december 2015 - "Danmarks Energi- og Klimafremskrivning 2015" ("Basisfremskrivning / BF2015")   |
| <b>Sandbag, 2014</b>           | Sandbag, oktober 2014, Forecasting the EU ETS to 2020<br><a href="https://sandbag.org.uk/site_media/pdfs/reports/Briefing-2020surplusprojection.pdf">https://sandbag.org.uk/site_media/pdfs/reports/Briefing-2020surplusprojection.pdf</a> |

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



---

**DANSK ENERGI**  
VODROFFSVEJ 59  
DK-1900 FREDERIKSBERG C  
DENMARK

+45 3530 0400  
[WWW.DANSKENERGI.DK](http://WWW.DANSKENERGI.DK)  
[DE@DANSKENERGI.DK](mailto:DE@DANSKENERGI.DK)

---