

# Effektiv anvendelse af vindkraft- baseret el i Danmark

Samspil mellem vindkraft, varmepumper og elbiler

**ENERGINET**/DK



**Effektiv anvendelse af vindkraft-  
baseret el i Danmark**

Udgivet af Energinet.dk

Oplag: 500

Rapporten kan fås ved henvendelse til:

Energinet.dk

Tonne Kjærsvvej 65

7000 Fredericia

Tlf. 70 10 22 44

Den kan også downloades på:

[www.energinet.dk](http://www.energinet.dk)

ISBN nr. 978-87-90707-62-0

marts 2009

## Indhold

1.	Resume .....	3
1.1	Vindkraft og elsystemet .....	3
1.2	Analyse af samspil mellem vindkraft, udvekslingsforbindelser, varmepumper og elbiler .....	4
1.3	Resultat af analysen .....	6
1.4	Varmepumper og elbilers betydning for 2020- målsætningerne .....	8
1.5	Forudsætninger og barrierer .....	9
2.	Indledning .....	11
2.1	Vindkraft .....	11
2.2	Vindkraft og elsystemet .....	12
2.3	Virkemidler til indpasning af vindkraft .....	13
2.4	Analyse af samspil mellem vindkraft, udvekslingsforbindelser, varmepumper og elbiler .....	14
3.	Sammentænkning af el- og varmesektoren .....	16
3.1	Den danske varmesektor i dag .....	16
3.2	Samspil mellem el- og varmesektoren i 2025 .....	18
3.3	El til varme – i fjernvarmeområdet .....	20
3.4	El til varme – uden for fjernvarmeområdet .....	21
3.5	Resultat af analysen .....	22
3.6	Barrierer, udfordringer og løsningsmuligheder .....	28
4.	Sammentænkning af el- og transportsektoren .....	31
4.1	Den danske transportsektor i dag .....	31
4.2	Samspil mellem el- og transportsektoren i 2025 .....	32
4.3	Resultat af analysen .....	35
4.4	Barrierer, udfordringer og løsningsmuligheder .....	40
5.	Samspillet – et energisystem 2025 med vindkraft, varmepumper og elbiler .....	44
5.1	Varmepumper og elbiler i energisystem 2025 .....	44
5.2	Resultat af analysen .....	45
5.3	Øvrige resultater .....	47
5.4	Varmepumper og elbilers betydning for 2020- målsætningerne .....	49
	Appendiks I – Metode og forudsætninger .....	52
	Appendiks II – Samspillet mellem elsystemerne i Danmark, Norden og Tyskland .....	62

## 1. Resume

Som resten af verden står Danmark over for to store energipolitiske udfordringer: At reducere energisektorens CO<sub>2</sub>-udledninger samt sikre forsyningssikkerheden. Et af svarene på udfordringerne vil være en omstilling af energiforsyningen fra fossile brændsler til vedvarende energi, og regeringens langsigtede vision er, at Danmark på sigt skal være helt uafhængig af fossile brændsler.

I december 2008 vedtog EU en ny Klimapakke, der opstiller bindende mål for blandt andet andelen af vedvarende energi og reduktion i CO<sub>2</sub>-udledningen. Disse målsætninger vil have stor indflydelse på det danske energisystem – både i el-, gas-, varme- og transportsektoren.

De politiske målsætninger og ambitioner vil betyde en markant udbygning af vindkraften i Danmark. For at realisere ambitionerne på både kort og langt sigt, skal en række nye virkemidler til integration af vindkraft derfor tages i brug.

### 1.1 Vindkraft og elsystemet

Vindkraft er i dag Danmarks vigtigste vedvarende energikilde til elproduktion, og vindkraften skal bære størstedelen af udbygningen med vedvarende energi i elsektoren.

I de kommende år skal andelen af vedvarende energi – især vindkraft – i energisystemerne øges markant. Det fremtidige energisystem skal være effektivt og fleksibelt, så den vedvarende energi kan anvendes der, hvor den er mest værdifuld.

Det danske elsystem er placeret på grænsen mellem det nordiske elsystem, der er kendetegnet ved store mængder vandkraft, og det europæiske elsystem, som har en stor andel termisk produktion. Dermed har det danske elsystem en vigtig rolle i forbindelse med at knytte områderne med vandkraft, vindkraft og termiske systemer tættere sammen.

Energinet.dk har på denne baggrund gode forudsætninger for at indpasse vindkraften, men udfordringerne ved indpasning af vind vil stige i takt med den massive satsning på vindkraft fremadrettet. Antallet af timer med overskud af elproduktion, som betegnes kritisk eloverløb<sup>1</sup>, vil stige, og der vil opstå situationer, hvor dette eloverløb bedst håndteres ved at lukke ned for vindkraftproduktionen. Disse situationer er ikke ønskelige, hverken ud fra et økonomisk eller politisk synspunkt, og derfor er det nødvendigt at udvikle et mere intelligent og fleksibelt elsystem.

Der er derfor behov for en udbygning af infrastrukturen, så der altid er aftagere til vindkraften. Denne udbygning – nationalt og internationalt – vil også fremover spille en væsentlig rolle i forhold til håndtering af vind-

<sup>1</sup> Ved kritisk eloverløb forstås den overskydende elproduktion, der ikke er afsætning for i et område og som heller ikke kan eksporteres ud af området.

kraften. En internationalt sammenhængende, veludbygget infrastruktur og velfungerende internationale energimarkeder er afgørende for en effektiv integration af vindkraften. I forhold til kritisk eloverløb kan udbygning af udvekslingsforbindelserne på kort og mellemlangt sigt sikre, at den producerede el kan afsættes. Samtidig betyder udvekslingsforbindelserne, at vindkraften – i de timer, hvor elpriserne er lave i Danmark – får adgang til områder med en højere elpris. Dermed øges vindkraftens værdi.

I takt med den stigende vindkraftproduktion både i Danmark og vores nabo-områder vil det, ud over udbygning af udvekslingsforbindelserne, blive nødvendigt med alternative virkemidler til at håndtere vindkraften. En markant udbygning af vindkraften i Nordeuropa betyder, at det på sigt vil blive sværere at løse problemerne med kritisk eloverløb, når vindkraftproduktionen er høj. Samtidig vil elpriserne i vores nabo-områder også blive lave i samme perioder som i Danmark, da der typisk ikke er de store forskelle i, hvornår vinden blæser i Danmark og de omkringliggende områder.

Derfor er der behov for at bringe andre virkemidler i spil, så vindkraften kan afsættes, når den produceres. Det kræver et nyt, stort fleksibelt elforbrug i Danmark, som både vil skabe en højere værdi af vindkraften, medvirke til at løse problemerne med kritisk eloverløb og samtidig bringe vindkraften i anvendelse i sektorer med store potentialer for fortrængning af fossile brændsler og reduktion af CO<sub>2</sub>.

De løsninger, der bringes i spil for at skabe dette nye fleksible elforbrug, skal være energieffektive løsninger. Energieffektivitet er en vigtig forudsætning, når målsætningerne omkring reduktion af CO<sub>2</sub> samt den langsigtede politiske vision om uafhængighed af fossile brændsler skal opfyldes.

Elbaserede løsninger giver mulighed for at opnå en høj energieffektivitet, og både i varme- og transportsektorerne kan el omsættes effektivt og fleksibelt. Derfor er det Energinet.dk's opfattelse, at integration af vindkraft i elsektoren og anvendelse af el i andre sektorer vil få en central rolle i fremtidens energisystem.

Den centrale udfordring for at sikre en effektiv anvendelse af vindkraftbaseret el i Danmark i fremtidens elsystem bliver dermed at optimere samspillet med varmesektoren og at udnytte potentialet i at bygge bro til transportsektoren.

## **1.2 Analyse af samspil mellem vindkraft, udvekslingsforbindelser, varmepumper og elbiler**

Denne rapport bygger på konklusionerne i Energinet.dk's Systemplan 2007 og Strategiplan 2008. I disse planer er de overordnede udfordringer for elsystemet samt Energinet.dk's strategi for at imødekomme disse

udfordringer beskrevet. Samtidig har resultaterne fra EcoGrid<sup>2</sup> fase 1 været med til at fastlægge, hvilke indsatsområder rapporten fokuserer på.

Rapportens overordnede formål er at analysere betydningen af implementeringen af varmepumper og elbiler, i en situation med en stor vindkraftudbygning. På denne baggrund er der valgt en referencesituation i 2025<sup>3</sup>, hvor vindkraftkapaciteten er øget med ca. 3.500 MW i forhold til i dag. Det svarer til, at den samlede, installerede vindkraftkapacitet i Danmark bliver ca. 6.700 MW. Rapportens konklusioner skal ses i lyset af denne udbygning.

Gennem rapporten er denne reference for 2025 anvendt til at sammenligne betydningen ved implementering af varmepumper og elbiler. Referencen for 2025 sammenlignes med alternative udbygningseksempler for 2025, hvor der er satset markant på både varmepumper og elbiler. Det er antaget, at 15 procent af vejtransporten, heraf 25 procent af transportarbejdet for personbiler, dækkes af elbiler. Derudover er det antaget, at 15 procent af varmebehovet i fjernvarmesektoren dækkes af varmepumper, og 50 procent af varmebehovet uden for fjernvarmesektoren dækkes af varmepumper i 2025.

De analyserede udbygningseksempler er valgt med det formål at analysere betydningen af implementering af varmepumper og elbiler i stor skala. Derfor er begge udbygningsforløb ambitiøse.

Analyserne viser, at varmepumper og elbiler har et stort potentiale i forhold til at skabe et nyt, stort fleksibelt elforbrug, der betyder, at en større del af den danske vindkraftproduktion kan udnyttes indenlands. Dermed reduceres CO<sub>2</sub>-udledningerne markant, og samtidig skabes der et samfundsøkonomisk overskud.

Desuden er det afgørende, at der udvikles løsninger med et intelligent samspil mellem elbilerne, varmepumperne og elsystemet, så det nye, store elforbrug placeres i de timer af døgnnet, hvor vindkraftproduktionen er stor, og hvor elprisen er lav.

Bliver der ikke indbygget denne intelligens i kommunikationen mellem elsystemet og det nye fleksible elforbrug, vil de samfundsøkonomiske gevinster ved at implementere elbiler og varmepumper blive reduceret med ca. 1,7 mia. kr./år. En manglende intelligent kobling til elnettet kan medføre et behov for mere kapacitet, hvilket svarer til to centrale kraftværksblokke eller to nye elforbindelser til udlandet til import af el.

<sup>2</sup> EcoGrid er et faseopdelt forskningsprojekt, der har til formål at analysere udviklingen af det danske elsystem, så store mængder vindkraft og anden vedvarende energi kan integreres i elsystemet.

<sup>3</sup> En nærmere beskrivelse af referencen samt analysens metode og forudsætninger findes i Appendiks I.

### 1.3 Resultat af analysen

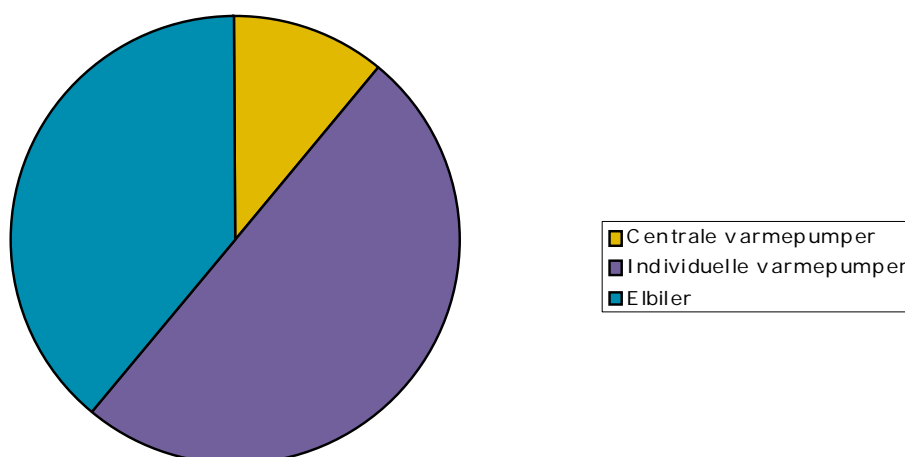
En implementering af varmepumper og elbiler betyder et nyt, stort fleksibelt forbrug – i alt stiger elforbruget med ca. 7 TWh/år. Til sammenligning er elforbruget i Danmark i dag ca. 37 TWh/år. Dette nye fleksible elforbrug betyder, at en større del af den danske vindkraftproduktion udnyttes indenlands. I nedenstående Figur 2 udtrykkes det ved et fald i nettoelekspotporten på ca. 6 TWh/år samtidig med, at den indenlandske elproduktion kun stiger med ca. 1 TWh/år.

Desuden betyder varmepumperne og elbilerne, at Danmarks samlede CO<sub>2</sub>-udledning reduceres med ca. 5 mio. ton/år, eller ca. 10 procent i forhold til Danmarks samlede CO<sub>2</sub>-udledning i dag. Reduktionerne sker som følge af energieffektivitet og VE-baserede løsninger, der erstatter mindre effektive teknologier baseret på fossile brændsler. Størstedelen af CO<sub>2</sub>-reduktionerne sker i de ikke-kvoteomfattede sektorer, hvor reduktionen er ca. 4,5 mio. ton/år.

Varmepumper og elbiler i et intelligent samspil med elsystemet og elmarkedet, medfører samtidig en reduktion af Danmarks samlede omkostninger til energiforsyning på op til 2,5 mia. kr./år i det analyserede eksempel i 2025. Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

De største besparelser opnås i transportsektoren (elbiler) og i varmesektoren uden for fjernvarmeområderne (individuelle varmepumper).

Figur 1 illustrerer, hvordan de samlede reduktioner er fordelt.



Figur 1 Samfundsøkonomisk overskud i 2025 ved implementering af varmepumper og elbiler.

Det samlede energiforbrug i Danmark reduceres med ca. 85 PJ/år i 2025 ved implementering af varmepumper og elbiler, hvilket svarer til en re-

duktion af Danmarks samlede energiforbrug på ca. 10 procent i forhold til i dag.

Figur 2 viser betydningen ved implementering af varmepumper og elbiler i 2025 i forhold til referencen uden varmepumper og elbiler.

Netto eleksport  TWh/år	Elforbrug  TWh/år	Elproduk- tion, ekskl. vind  TWh/år	Reducerede CO <sub>2</sub> - emissioner  Mio. ton/år	Reducerede omkostnin- ger  Mia. kr./år	Reduktion i samlet energifor- brug PJ/år
-6	+7	+1	5	2,5	85

Figur 2 Nøgletal for betydning ved implementering af varmepumper og elbiler i 2025 i forhold til referencen uden varmepumper og elbiler.

### 1.3.1 Udbygning af vindkraft i nabo-områder

Det er ikke kun Danmark, der har ambitioner om en markant udbygning af vindkraften. Både Norge, Sverige og Tyskland har tilsvarende planer, og især Tyskland har ambitioner om at øge vindkraftkapaciteten markant.

En udbygning af vindkraften i nabo-områderne samt en øget udvekslingskapacitet mod disse områder betyder, at værdien ved et stort fleksibelt elforbrug gennem varmepumper og elbiler bliver endnu større. Figur 3 viser forskellen mellem implementering af varmepumper og elbiler i Danmark i en situation med øget vindkraftkapacitet i Norden og Tyskland samt øget udvekslingskapacitet mod nabo-områderne og en tilsvarende situation, hvor der ikke er implementeret varmepumper og elbiler i Danmark.

Netto eleksport  TWh/år	Elforbrug  TWh/år	Elproduktion, ekskl. vind  TWh/år	Reducerede CO <sub>2</sub> - emissioner  Mio. ton/år	Reducerede omkostninger  Mia. kr./år
-8	+7	-1	6	4

Figur 3 Nøgletal for betydning ved implementering af varmepumper og elbiler i 2025 i en situation med øget vindkraftkapacitet i nabo-områderne samt øget udvekslingskapacitet mod nabo-områderne.

I Tyskland vil den øgede mængde vindkraft betyde flere og større pris-svingninger. I disse tilfælde vil det være en fordel med et stort fleksibelt elforbrug i Danmark, da der dermed skabes gode betingelser for at udnytte de markedsbaserede fordele ved at have et stort fleksibelt elforbrug, der kan aftage el i de situationer, hvor Tyskland har overskydende elproduktion, og elpriserne dermed er lave.



I Norden vil vindkraftudbygningen ikke have samme påvirkning på elprisen, da vandkraften kan lagre og udjævne vindkraftens indvirkning på elsystemet og elmarkedet uden begrænsninger i forhold til udlandsforbindelser.

Hvis der implementeres varmepumper og elbiler i Danmark sideløbende med en vindkraftudbygning i nabo-områderne og en øget udvekslingskapacitet mod nabo-områderne, reduceres de samlede omkostninger i energisektoren med 4 mia. kr./år<sup>4</sup> i forhold til situationen, hvor der udbygges med vindkraft i nabo-områderne, og der ikke implementeres varmepumper og elbiler. Det skyldes, at varmepumperne og elbilerne skaber en større efterspørgsel på el, og at deres fleksibilitet betyder mulighed for at importere denne el, når elpriserne er lave. Dermed erstatter billig el dyrere fossile brændsler.

Samtidig betyder den øgede import fra Tyskland, at den danske elproduktion falder, og Danmark går fra at være nettoeksportør af el til at være nettoimportør af el.

De samlede CO<sub>2</sub>-emissioner reduceres med 6 mio. ton/år i situationen med udbygning af vindkraft i nabo-områderne, øget udvekslingskapacitet til nabo-områderne samt implementering af varmepumper og elbiler i Danmark i forhold til den tilsvarende situation uden varmepumper og elbiler. CO<sub>2</sub>-reduktionen i de ikke-kvoteomfattede sektorer er også i dette tilfælde ca. 4,5 mio. ton/år.

#### **1.4 Varmepumper og elbilers betydning for 2020-målsætningerne**

Nye fleksible elforbrug, der kommunikerer intelligent med elsystemet, kan få en nøglerolle i forbindelse med krav, som Danmark skal opfylde i forbindelse med EU's mål for anvendelsen af vedvarende energi og udledningen af CO<sub>2</sub> i 2020.

Samtidig kan nye fleksible elforbrug medvirke til energieffektiviseringer, der – selvom EU's målsætninger i 2020 endnu ikke er bindende på dette område – bliver et centralt indsatsområde fremadrettet.

Figur 4 illustrerer varmepumper og elbilers potentiale i forhold til opfyldelse af EU's 2020-målsætninger.

<sup>4</sup> Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

	VE-andel af samlet energiforbrug	CO <sub>2</sub> -udledning i ikke-kvotebelagte sektorer Mio. ton/år	VE-andel af transport	Energieffektivitet
Mål for Danmark, jf. EU's 2020-målsætninger	+13 procentpoint	-7,5	+10 procent	-20 procent
Varmepumper og elbiler 2020	+5 procentpoint	-3	+4 procent	-7 procent

Figur 4 Nøgletal i forbindelse med EU's 2020-målsætninger.<sup>5</sup>

Tabellen viser, at varmepumper og elbiler kan blive en vigtig faktor i forbindelse med 2020-målsætningerne. VE-andelen af det samlede energiforbrug skal øges med ca. 13 procentpoint i 2020 (sammenlignet med 2005), og her bidrager varmepumperne og elbilerne i dette eksempel med ca. 5 procentpoint. I transportsektoren bidrager elbilerne i eksemplet med ca. 4 procent vedvarende energi, og dette vil være et godt supplement til biobrændsler, der har et fast mål på 5,75 procent i 2010.

I den ikke-kvotebelagte sektor skal Danmark reducere CO<sub>2</sub>-udledningerne med ca. 7,5 mio. ton i 2020. Her kan de individuelle varmepumper og elbiler i eksemplet bidrage med ca. 3 mio. ton.

Samtidig understøtter varmepumper og elbiler EU's målsætninger omkring energieffektivitet. Målet er at forbedre energieffektiviteten med 20 procent i 2020. Selvom det endnu ikke er et bindende mål, er det et godt pejlemærke, da det i høj grad understøtter de øvrige 2020-målsætninger. Varmepumper og elbiler forbedrer i dette eksempel den samlede energieffektivitet med ca. 7 procent i 2020.

### 1.5 Forudsætninger og barrierer

Rapporten afdækker en række forudsætninger og barrierer for at få et effektivt udbytte af en satsning på varmepumper og elbiler:

- Det er helt afgørende for de samfundsøkonomiske gevinster, at der udvikles løsninger med intelligent kommunikation mellem elsystemet og henholdsvis varmepumper og elbiler. En manglende intelligent tilkobling til elnettet kan medføre et behov for mere kapacitet svarende til to centrale kraftværksblokke eller to nye elforbindelser til udlandet til import af el.

<sup>5</sup> Der er i 2020 antaget en samlet vindkraftproduktion på 8,8 TWh, hvor centrale varmepumper dækker ca. 10 pct. af fjernvarmeproduktionen, individuelle varmepumper dækker 33 pct. af varmebehovet uden for fjernvarmeområdet, og elbiler dækker 10 pct. af vejtransportens samlede energiforbrug – fordelt på både person- og varebiler samt busser.

- Udbredelsen af intelligente elmålere er en forudsætning for et fleksibelt elforbrug med varmepumper og elbiler. De samfundsøkonomiske fordele ved en intelligent kommunikation mellem elsystemet og henholdsvis varmepumper og elbiler er så markante, at det efter Energinet.dk's opfattelse ikke vil være hensigtsmæssigt at implementere varmepumper og elbiler uden samtidig at implementere intelligente elmålere.
- *Varmepumper:* Teknologivalget for individuelle husstandspumper er afgørende for et optimalt samspil med vindkraft. Luft-luft varmepumper giver ikke mulighed for at gøre elforbruget mere fleksibelt uden væsentlige tab af komfort. Det gør derimod vandbårne varmepumpeløsninger – det vil sige jordvarmeanlæg og varmepumper med tilknytning til et vandbåret system, fx varmerør støbt i et betongulv. Det er vigtigt allerede nu at sikre en udvikling mod de fleksible varmepumpeløsninger.
- *Elbiler:* Der skal udvikles internationale, åbne standarder for tilslutning og kommunikation mellem elbil og elsystem, så der er åben og lige adgang for alle typer elbiler til intelligent opladning.
- *Elbiler:* Elsystemet og elmarkedet skal udvikles, så det understøtter en realisering af de potentielle energi- og samfundsøkonomiske fordele, der ligger i at sammentænke elsystemet med transportsektoren.
- *Elbiler:* Der er for øjeblikket en tidsbegrænset afgiftsfritagelse for elbiler, som alt andet lige kan gøre elbilen til et privatøkonomisk interessant alternativ. Regeringen vil i næste folketingssamling fremlægge forslag til en grundlæggende grøn omlægning af bilbeskatningen. Indeværende analyse viser, at der er en række samfundsøkonomiske gevinster i relation til elbiler, der kan inddrages i denne sammenhæng.

## 2. Indledning

Som resten af verden står Danmark over for to store energipolitiske udfordringer: At reducere energisektorens CO<sub>2</sub>-udledninger samt sikre forsyningssikkerheden. Et af svarene på udfordringerne vil være en omstilling af energiforsyningen fra fossile brændsler til vedvarende energi, og regeringens langsigtede vision er, at Danmark på sigt skal være helt uafhængig af fossile brændsler<sup>6</sup>.

I december 2008 vedtog EU en ny Klimapakke, der opstiller bindende mål for blandt andet andelen af vedvarende energi og reduktion i CO<sub>2</sub>-udledningen. Disse målsætninger vil have stor indflydelse på det danske energisystem – både i el-, gas-, varme- og transportsektoren – og vil derfor også i høj grad være anvisende for Energinet.dk's arbejde i de kommende år.

Den samlede CO<sub>2</sub>-reduktion i EU skal i 2020 udgøre 20 procent i forhold til niveauet i 1990. For Danmarks vedkommende betyder det, en reduktion på 20 procent af CO<sub>2</sub>-udledningen i de ikke-kvoteomfattede sektorer. De største udledninger kommer her fra landbruget, transportsektoren og den individuelle opvarmning af boliger uden for fjernvarmeområdet. Det er derfor nærliggende at fokusere på øget anvendelse af vedvarende energi i transportsektoren, individuel opvarmning samt en øget biogasproduktion, der vil betyde en reduktion af landbrugets emissioner af drivhusgasser. Denne rapport behandler ikke mulighederne for øget biogasproduktion<sup>7</sup>, men fokuserer på mulighederne for at indpasse mere vindkraft i elsystemet i samspil med en øget effektiv anvendelse af el i varme- og transportsektorerne.

Andelen af vedvarende energi i EU skal i 2020 udgøre 20 procent af det endelige energiforbrug, og for Danmark er målet 30 procent sammenlignet med 17 procent i 2005.

Disse målsætninger og ambitioner vil betyde en markant udbygning af vindkraften i Danmark. For at realisere ambitionerne på både kort og langt sigt skal en række nye virkemidler til integration af vindkraftproduktion tages i brug.

### 2.1 Vindkraft

Vindkraft er i dag Danmarks vigtigste vedvarende energikilde til elproduktion, og vindkraften skal bære størstedelen af udbygningen med vedvarende energi i elsektoren.

<sup>6</sup> "En visionær dansk energipolitik 2025", Energistyrelsen 2007.

<sup>7</sup> Energinet.dk er sammen med Energistyrelsen, DGC, Naturgas Midt-Nord og DONG Distribution i gang med at kortlægge mulighederne for øget anvendelse af biogas. I den forbindelse undersøger Energinet.dk effekten på elsystemets fleksibilitet og evne til at indpasse øgede mængder vindkraft ved biogas' anvendelse til kraftvarmeproduktion og ved opgradering og injektion i naturgasnettet.

I dag er produktionskapaciteten fra landbaserede vindmøller omkring 2.800 MW og omkring 400 MW fra havvindmøller. Energistyrelsen vurderer, at det samlede realiserbare potentiale for havvindmøller er ca. 12.000 MW<sup>8</sup>.

På længere sigt forventes andre fluktuerende vedvarende energikilder, som fx bølgekraft og sol, også at levere effekt til elnettet. Selvom denne rapport fokuserer på vindkraft, gælder rapportens konklusioner også for indpasning af andre fluktuerende energikilder.

I de kommende år skal andelen af vedvarende energi – især vindkraft – i energisystemerne øges markant. Det fremtidige energisystem skal være effektivt og fleksibelt, så den vedvarende energi kan anvendes der, hvor den er mest værdifuld. Energinet.dk vil arbejde for at sikre disse hensyn med udgangspunkt i en helhedsorienteret planlægning, som er baseret på samfundsøkonomisk rentable løsninger og som sikrer hensynet til forsyningsikkerhed, miljø og effektive energimarkeder. For at opnå en smidig og effektiv integration af vindkraft er det efter Energinet.dk's opfattelse afgørende og nødvendigt at tænke el-, varme- og transportsystemerne sammen.

## 2.2 Vindkraft og elsystemet

Det danske elsystem er placeret på grænsen mellem det nordiske elsystem, der er kendetegnet ved store mængder vandkraft, og det europæiske elsystem, som har en stor andel termisk produktion. Dermed har det danske elsystem en vigtig rolle i forbindelse med at knytte områderne med vandkraft, vindkraft og termiske systemer tættere sammen.

Udvekslingsforbindelserne mellem Danmark og Tyskland bidrager til en mere velfungerende markedsfunktion i form af en tættere markedskobling mellem Norden og Kontinentet.

Energinet.dk har på denne baggrund gode forudsætninger for at indpasse vindkraften, men udfordringerne ved indpasning af vind vil stige i takt med den massive satsning på vindkraft fremadrettet. Antallet af timer med overskud af elproduktion, som betegnes kritisk eloverløb<sup>9</sup>, vil stige, og der vil opstå situationer, hvor dette eloverløb bedst håndteres ved at lukke ned for vindkraftproduktionen. Disse situationer er ikke ønskelige, hverken ud fra et økonomisk eller politisk synspunkt, og derfor er det nødvendigt at udvikle et mere intelligent og fleksibelt elsystem.

Derfor er der behov for en udbygning af infrastrukturen, så der er aftagere til vindkraften. Denne udbygning – nationalt og internationalt – vil også fremover spille en væsentlig rolle i forhold til håndtering af vindkraften. En internationalt sammenhængende, veludbygget infrastruktur og velfungerende internationale energimarkeder er afgørende for en effektiv

<sup>8</sup> "Wind Energy in Denmark" (2002).

<sup>9</sup> Ved kritisk eloverløb forstås den overskydende elproduktion, der ikke er afsætning for i et område og som heller ikke kan eksporteres ud af området.

integration af vindkraften. I forhold til kritisk eloverløb kan udbygning af udvekslingsforbindelserne på kort og mellemlangt sigt sikre, at den producerede el kan aftages. Samtidig betyder udvekslingsforbindelserne i dag, at vindkraften – i de timer, hvor elpriserne er lave i Danmark – får adgang til områder med en højere elpris. Dermed øges vindkraftens værdi.

### 2.3 Virkemidler til indpasning af vindkraft

I takt med den stigende vindkraftproduktion – både i Danmark og vores nabo-områder – vil det, ud over udbygning af udvekslingsforbindelserne, blive nødvendigt med alternative virkemidler til at håndtere vindkraften. En markant udbygning af vindkraften i Nordeuropa betyder, at det på sigt vil blive sværere at løse problemerne med kritisk eloverløb, når vindkraftproduktionen er høj. Samtidig vil elpriserne i vores nabo-områder også blive lave i samme perioder som i Danmark, da der typisk ikke er de store forskelle i, hvornår vinden blæser i Danmark og de omkringliggende områder.

Derfor er der behov for at bringe andre virkemidler i spil, så vindkraften kan afsættes, når den produceres. Det kræver et nyt, stort fleksibelt elforbrug i Danmark, som både vil skabe en højere værdi af vindkraften, medvirke til at løse problemerne med kritisk eloverløb og samtidig bringe vindkraften i anvendelse i sektorer med store potentialer for reduktion af CO<sub>2</sub>.

De løsninger, der bringes i spil for at skabe dette nye fleksible elforbrug, skal være energieffektive løsninger. Energieffektivitet er en vigtig forudsætning, når målsætningerne omkring reduktion af CO<sub>2</sub> samt den langsigtede politiske vision om uafhængighed af fossile brændsler skal opfyldes.

Elbaserede løsninger giver mulighed for at opnå en høj energieffektivitet, og både i varme- og transportsektorerne er der mulighed for at omsættes el effektivt og fleksibelt. Derfor er det Energinet.dk's opfattelse, at integration af vindkraft i elsektoren og anvendelse af el i andre sektorer vil få en central rolle i fremtidens energisystem.

Der findes en bred vifte af forskellige virkemidler med forskellige tidshorisonter. Dette er illustreret i Figur 5, der også viser, om virkemidlernes primære formål er balancering af elsystemet eller integration af el i andre sektorer.

De virkemidler, Energinet.dk anser som de væsentligste i forhold til en effektiv håndtering af vindkraften, er udbygning af udvekslingsforbindelser samt implementering af varmepumper og elbiler. Varmepumper og elbiler vil samtidig betyde, at CO<sub>2</sub>-emissionerne fra varme- og transportsektoren vil falde. Rapporten fokuserer på potentialerne for nyt fleksibelt elforbrug ved implementering af varmepumper og elbiler, da disse tekno-

logier giver mulighed for at opnå en markant højere energieffektivitet end øvrige teknologier inden for varmeproduktion og transport.



Figur 5 Virkemidler til balancering af elsystemet og integration af VE-el i varme- og transportsektoren.

Den centrale udfordring for at sikre en effektiv anvendelse af vindkraftbaseret el i Danmark i fremtidens elsystem bliver dermed at optimere samspillet med varmesektoren og at udnytte potentialet i at bygge bro til transportsektoren.

## 2.4 Analyse af samspil mellem vindkraft, udvekslingsforbindelser, varmepumper og elbiler

Denne rapport bygger på konklusionerne i Energinet.dk's Systemplan 2007 og Strategiplan 2008. I disse planer er de overordnede udfordringer for elsystemet samt Energinet.dk's strategi for at imødekomme disse udfordringer beskrevet. Samtidig har resultaterne fra EcoGrid<sup>10</sup> fase 1 været med til at fastlægge, hvilke indsatsområder rapporten fokuserer på.

Rapportens overordnede formål er at analysere betydningen af implementeringen af varmepumper og elbiler i en situation med en stor vindkraftudbygning. På denne baggrund er der valgt en referencesituation i 2025<sup>11</sup>, hvor vindkraftkapaciteten er øget med ca. 3.500 MW i forhold til i dag. Det svarer til, at den samlede installerede vindkraftkapacitet i Danmark bliver ca. 6.700 MW. Rapportens konklusioner skal ses i lyset af denne udbygning.

<sup>10</sup> EcoGrid er et faseopdelt forskningsprojekt, der har til formål at analysere udviklingen af det danske elsystem, så store mængder vindkraft og anden vedvarende energi kan integreres i elsystemet.

<sup>11</sup> En nærmere beskrivelse af referencen samt analysens metode og forudsætninger findes i Appendiks I.

Gennem rapporten er denne reference for 2025 anvendt til at sammenligne betydningen ved implementering af varmepumper og elbiler. Referencen for 2025 sammenlignes med alternative udbygningseksempler for 2025, hvor der er satset markant på både varmepumper og elbiler. Det er antaget, at 15 procent af vejtransporten dækkes af elbiler, heraf 25 procent af transportarbejdet for personbiler og 15 procent af transportarbejdet for henholdsvis varebiler og busser. Derudover er det antaget, at 15 procent af varmebehovet i fjernvarmesektoren dækkes af varmepumper, og 50 procent af varmebehovet uden for fjernvarmesektoren dækkes af varmepumper i 2025.

De analyserede udbygningseksempler er valgt af hensyn til at analysere betydningen af implementering af varmepumper og elbiler i stor skala. Derfor er begge udbygningsforløb ambitiøse.

Rapporten peger, via varmepumper og elbiler, på en række muligheder for integration af fremtidens store mængder vindkraft og identificerer en række umiddelbare barrierer og udfordringer for realiseringen af mulighederne for integration af el i varme- og transportsektorerne. Energinet.dk kommer med forslag til, hvordan disse barrierer kan overkommes.

Desuden fokuserer rapporten på, hvilken betydning udbygning af vindkraften i vores nabo-områder samt udbygning af udvekslingsforbindelserne til disse områder har for implementeringen af varmepumper og elbiler.

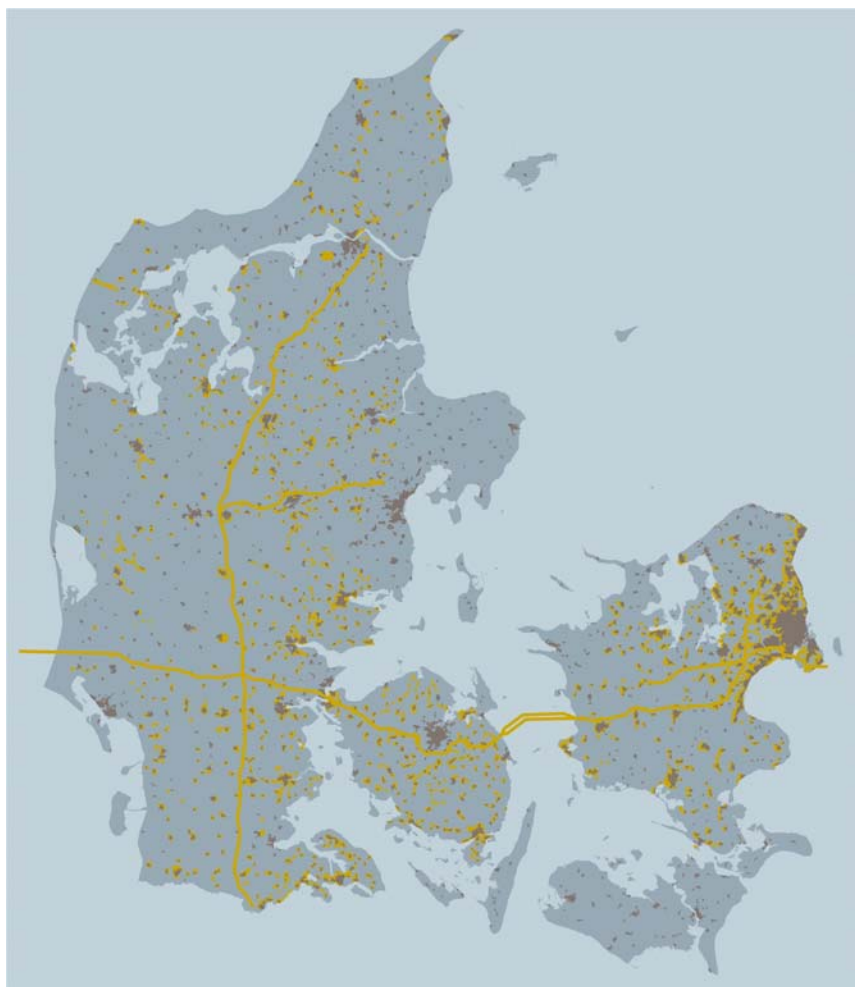


### 3. Sammentænkning af el- og varmesektoren

I dette kapitel analyseres mulighederne for at integrere el (med et højt og stigende indhold af vindkraft) i den danske varmesektor med henblik på at reducere afhængigheden af fossile brændsler. Med udgangspunkt i den danske varmesektor i dag beskriver kapitlet perspektiverne i et mere fleksibelt samspil mellem el- og varmesektoren i 2025 ved hjælp af varmepumper. Desuden beskrives de barrierer, som Energinet.dk ser for implementeringen af varmepumper. På baggrund af disse barrierer præsenteres en række anbefalinger.

#### 3.1 Den danske varmesektor i dag

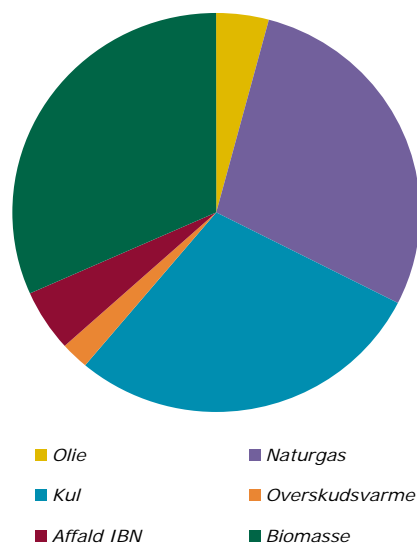
Opvarmning af boliger udgør i dag ca. 20 procent af det samlede danske energiforbrug på ca. 880 PJ/år. Varmesektoren består af områder med fjernvarme, som dækker ca. 60 procent af varmebehovet, områder med naturgasnet til private boliger, som dækker ca. 15 procent af varmebehovet, og områder uden kollektiv varmeforsyning (det såkaldte område IV), der dækker ca. 25 procent af varmebehovet.



Figur 6 Danmarks opdeling i varmeforsyning med fjernvarme (brune områder), naturgas (gule områder) og individuel forsyning (grå områder).

Fjernvarmesystemet består af en række store, centrale kraftvarmeværker i nærheden af de store byer samt en række mindre decentrale værker. Størstedelen af fjernvarmen, ca. 80 procent, produceres ved kraftvarme-produktion, hvor kølevandet fra elproduktionen sendes ud i fjernvarmesystemet og udnyttes til boligopvarmning. De resterende 20 procent af fjernvarmen produceres primært af biomasse uden nogen elproduktion.

Den samlede fjernvarmeproduktion produceres primært ved afbrænding af fossile brændsler, der udgør ca. 60 procent af brændslerne, mens biomasse, affald og industriel overskudsvarme udgør ca. 40 procent.



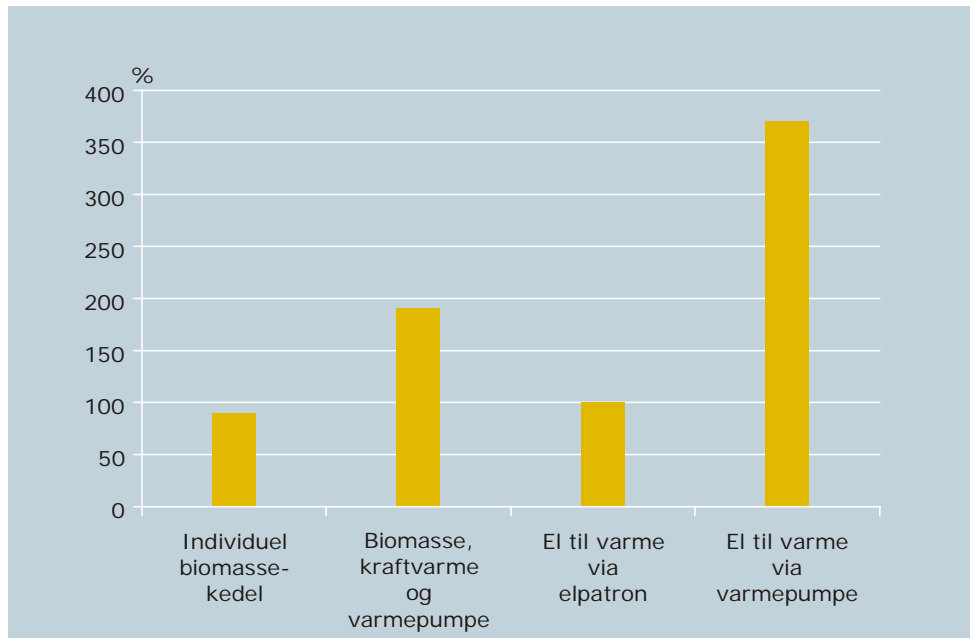
Figur 7 Fordelingen af anvendt brændsel ved produktion af fjernvarme. Kilde: Energistyrelsen, Energistatistik 2007. (IBN: Ikke biologisk nedbrydeligt).

I områder uden kollektiv varmforsyning opvarmes de private boliger typisk med oliefyr, forskellige former for biomasse med en forholdsvis lav effektivitet og i mindre grad med elvarme eller varmepumper.

Denne rapport fokuserer på mulighederne for at reducere varmesektorens samlede energiforbrug ved at anvende eldrevne varmepumper til opvarmning. Varmepumper har en effektivitet på op til 300-400 procent og kan dermed blive et vigtigt bidrag til at reducere anvendelse af fossile brændsler i varmesektoren.

Elpatroner er – sammenlignet med varmepumper – relativt billige at etablere og i disse analyser er det antaget, at elpatroner koster 2 mio. kr./MJ/s inklusive nettilslutning, og varmepumper koster 5 mio. kr./MJ/s inklusive nettilslutning. Da energieffektiviteten er ca. 3-4 gange så høj for varmepumper, er deres energiomkostninger ca. 3-4 gange lavere end elpatronerne. Varmepumper er en mere fordelagtig løsning set ud fra et langsigtet synspunkt om at opnå et energieffektivt energisystem.

I nedenstående Figur 8 er den samlede effektivitet ved omsætning til varme illustreret. I eksemplet "Biomasse, kraftvarme og varmepumper" antages det, at biomasse laves til kraftvarme, og elproduktionen herfra anvendes til varmeproduktion i en individuel varmepumpe.



Figur 8 Effektivitet opstillet som varmeproduktion i forhold til brændselsinput ved forskellige varmeforsyningsløsninger baseret på vedvarende energi.

Som det fremgår af Figur 8, opnås en markant højere udnyttelse af biomassen ved at anvende ressourcen til kraftvarmeproduktion og varmepumpeforsyning frem for at anvende biomassen i en kedel til opvarmning. En løsning med en varmepumpe i processen giver samtidig maksimal fleksibilitet til at sikre en markedsræssig optimal udnyttelse af vindkraft og biomasse og på længere sigt bølgekraft og elproduktion fra solceller. Denne fleksibilitet bliver stadig mere vigtig ved stigende mængder vedvarende energi.

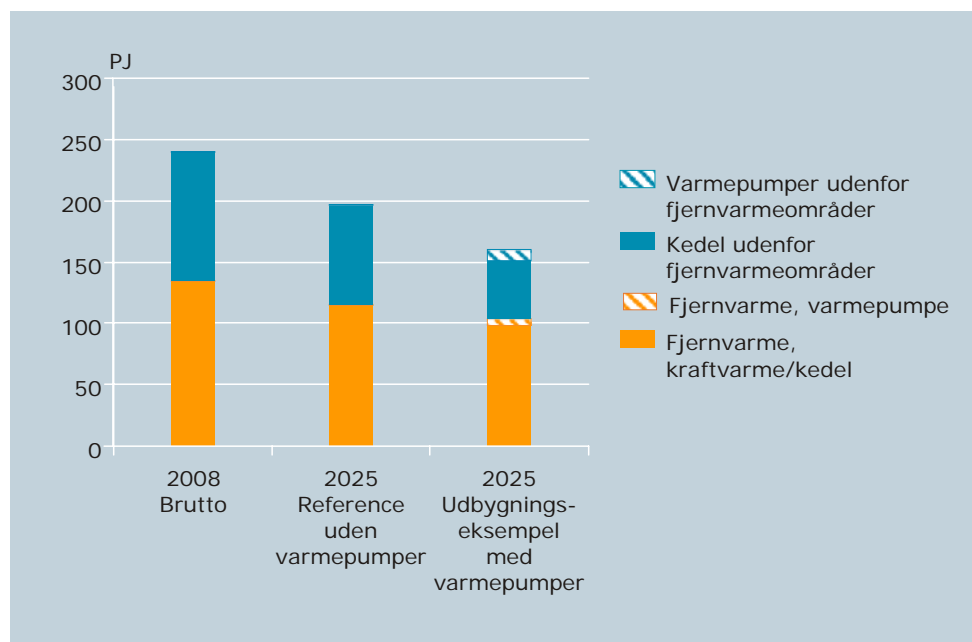
### 3.2 Samspil mellem el- og varmesektoren i 2025

Der er et stort potentiale for integration af el i varmesektoren. I et langsigtet perspektiv, hvor fossile brændsler udfases, kan elforbrug til varmepumper og elpatroner potentielt udgøre 8-10 TWh/år. En udnyttelse af dette potentiale for nyt fleksibelt elforbrug vil have en stor positiv effekt i forhold til indpasningen af vindkraft i elsystemet. Til sammenligning er det årlige elforbrug i Danmark i dag ca. 37 TWh.

I udbygningseksemplet 2025 med varmepumper antages en kraftig udbygning med varmepumper. I områder med fjernvarmeforsyning antages det, at ca. 15 procent af varmen (17 PJ) produceres på store varmepumper. I områder uden for fjernvarmesektoren antages det, at ca. 50 procent af varmebehovet (34 PJ) forsynes fra individuelle varmepumper

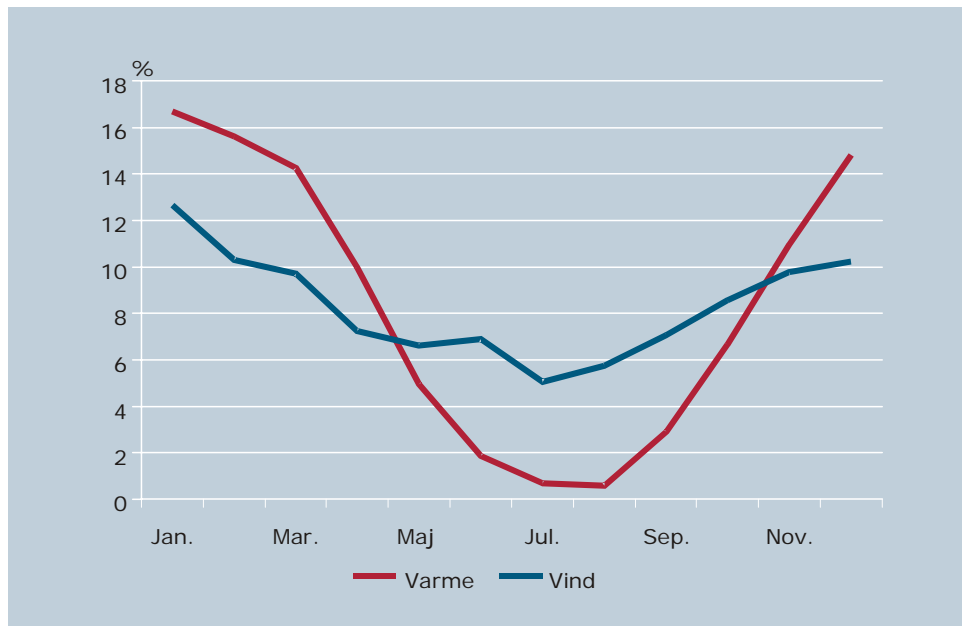
(svarende til ca. 500.000 boliger). Elforbruget til centrale varmepumper er i udbygningseksemplet med varmepumper 1,6 TWh, og elforbruget til de individuelle varmepumper er i udbygningseksemplet med varmepumper 2,6 TWh. Der er antaget en effektivitet på 300 procent for de centrale varmepumper og en effektivitet på 370 procent for de individuelle varmepumper.

I Figur 9 er forskellen i varmebehov vist for henholdsvis 2008, reference uden varmepumper og udbygningseksempel med varmepumper i 2025.



Figur 9 Varmebehov i 2008, nettoenergiforbrug til opvarmning i referencen 2025 og nettoenergiforbrug til opvarmning i 2025, hvor der er udbygget med varmepumper.

Vindkraftproduktionen fluktuerer både fra time til time og hen over året. Varmebehovet er mere stabilt over døgnets timer, men varierer også hen over døgnet og året. De perioder, hvor der er mest vindkraft til rådighed, er set over månedlige gennemsnit i høj grad sammenfaldende med perioderne med det største varmebehov, hvilket er illustreret i Figur 10.



Figur 10 Den årlige gennemsnitlige vindproduktion over en 10-årig periode sammen med det gennemsnitlige antal graddage over en 10-årig periode. Kilder: Energistyrelsens stamdataregister for vindmøller samt Risøs vindmålinger. Beregning EMD, Aalborg – [www.vindstat.dk](http://www.vindstat.dk) og Teknologisk Instituts graddageopgørelse.

Når vindkraftproduktionen er høj, og elforbruget er lavt, vil elpriserne typisk være lave. Derfor vil fleksible varmepumper være ideelle til at facilitere integrationen af el i varmesektoren. Varmepumper kan installeres enten i forbindelse med kraftværker eller private husholdninger og fungerer ved at komprimere varmen i et system, fx varmen fra et kraftvarmeværk, solenergien i jorden, i luften eller i søvand. I et kraftvarmeværk kan produktionen optimeres hen over flere dage. I individuelle varmepumpeløsninger skønnes optimering over nogle timer realistisk, hvis anlægget er vandbaseret på varmeafgivelsessiden, eventuelt med varmeakkumulering udover bygningens passive varmelagring. Principielt er større varmelagre dog også mulige med individuelle varmepumper.

Varmepumperne kan således fungere som et lager for den energi, vindmøllerne producerer. Flexibiliteten i varmepumperne giver mulighed for et godt samspil med indpasningen af vindkraften i elsystemet.

### 3.3 El til varme – i fjernvarmeområdet

Store varmepumper installeret på både centrale og decentrale kraftvarmeværker kan yde et betydeligt bidrag til en effektiv anvendelse af vindkraften og samtidig skabe en bedre fleksibilitet i elsystemet. Fjernvarmeværkerne er typisk udstyret med en akkumuleringstank, så den producerede varme kan lagres i op til et par dage.

Der er analyseret en udbygning dels med elpatroner, og dels med store varmepumper i en række centrale og decentrale kraftvarmenet. Der er analyseret en udbygning med en kapacitet på op til 200 pct. af den varmeproduktion, som værket på en gennemsnitsdag leverer.

### 3.4 El til varme – uden for fjernvarmeområdet

Der findes flere forskellige typer varmepumper til individuel opvarmning. De forskellige varmepumper har forskellige potentialer i forhold til at gøre elforbruget mere fleksibelt og dermed kunne bidrage til i højere grad at udnytte elektriciteten, når den er billig – typisk i situationer med overskud af vindkraft.

Varmepumper, der trækker varmen ud af luften uden for boligen og afleverer den opvarmet inden døre, de såkaldte luft-luft varmepumper, er meget udbredte på markedet i dag. Luft-luft varmepumper installeres især i fritidsboliger, eller som supplement til eksisterende varmesystemer. En luft-luft varmepumpe vil typisk kunne levere 70 procent af opvarmningsbehovet i en bolig. Luft-luft varmepumpen har ikke mulighed for at lagre energien i form af varmt vand.

Elforbruget til en luft-luft varmepumpe følger lufttemperaturen ret nøje; Når varmepumpen er tændt, sender den varm luft ind i boligen, og når den er slukket, bliver der forholdsvis hurtigt koldt igen, fordi varmen ikke er lagret – hverken i varmt vand i rør (fx gulvvarme) eller i beton støbt rundt om varmerør. Luft-luft varmepumper har derfor kun et begrænset potentiale til at gøre forbruget mere fleksibelt i forhold til elprisen – uden væsentlige tab af komfort.

Luft-vand varmepumper trækker varmen ud af luften og afleverer varmen til et vandbåret system. Jordvarmeanlæg trækker varmen ud af jorden og afleverer det til et vandbåret system.

Varmepumper med tilknytning til et vandbåret system afleverer typisk energien til varmerør støbt i et betongulv. Det giver mulighed for at oplagre varmen dels i vandrørene, dels i betonmassen, så det er muligt at forskyde det tidspunkt, der skal slukkes eller tændes for varmepumpen, uden at det opleves som en ringere komfort for forbrugerne. Jordvarmeanlæg har yderligere den fordel, at det fungerer bedre om vinteren, da jordens temperatur er mere konstant end luftens. Varmepumper i tilknytning til et vandbåret system kan derfor bidrage til at gøre elforbruget mere fleksibelt, så der i højere grad kan anvendes el, når elprisen er lav, og tilsvarende afbryde elforbruget, når elprisen er høj.

#### 3.4.1 Drift af individuelle varmepumper

De individuelle varmepumper kan drives på forskellige måder. Energinet.dk har analyseret tre forskellige driftskoncepter:

*Driftskoncept 1: Uden mulighed for lagring af varme*

Varmepumperne producerer til det øjeblikkelige varmebehov, som det kendes fra eksempelvis luft-luft varmepumper. Der er i dette koncept ikke mulighed for at akkumulere varme og tilpasse varmeproduktionen til elsystemets tilstand og elmarkedets prissignaler.

På grund af den manglende lagermulighed følger elforbruget varmebehovet time for time. Varmepumperne vil typisk ikke være dimensioneret til spidslast i særligt kolde timer, og det vil i disse timer typisk være nødvendigt at supplere varmepumpen med en anden varmeproduktion fra eksempelvis elvarmepaneller.

*Driftskoncept 2: Optimering af varmeproduktion over døgnet*

Vandbårne varmepumpeløsninger med mulighed for lagring af varmen. Denne kombination betyder, at anlægget kan afbryde strømforbruget i nogle timer, når elprisen er høj. Det antages, at varmen kan produceres optimeret til elprisen hen over døgnet. I vinterperioden, hvor varmepumpen har mange driftstimer i døgnet, vil muligheden for at optimere til døgnprofilen være relativt begrænset. I særligt kolde perioder suppleres varmepumpen med en elpatron.

*Driftskoncept 3:*

Varmepumpen drives som i driftskoncept 2, men kombineres med en gas- eller oliebrænder eller et biomassefyr i stedet for en elpatron. Herved bliver løsningen mere fleksibel og kan skifte fra el til et alternativt brændsel i timer med særligt høje elpriser. I denne kombination kan elforbruget afbrydes i længere perioder, når elprisen er høj. Derfor giver dette driftseksempel en fordel til elsystemet, idet elforbruget kan afbrydes i længere perioder med højt elforbrug og lav vindkraftproduktion.

### 3.5 Resultat af analysen

I dette afsnit præsenteres resultaterne af Energinet.dk's analyse af udbygningseksemplet med varmepumper i 2025, både inden for og uden for fjernvarmesystemet. Der er taget udgangspunkt i følgende parametre:

- Reduktion af CO<sub>2</sub> og energiforbrug
- Behov for produktionskapacitet
- Kritisk eloverløb
- Forsyningsikkerhed
- Behov for udbygning af elnettet
- Regulerkraft til elsystemet
- Samfundsøkonomiske fordele

Kort opsummeret betyder et intelligent samspil mellem el- og varmesektoren, med en implementering af varmepumper svarende til 15 procent af varmebehovet i fjernvarmesektoren og 50 procent af varmebehovet uden for fjernvarmesektoren i 2025, at:

- CO<sub>2</sub>-emissionerne reduceres med ca. 3,5 mio. ton/år
- det kritiske eloverløb på 90 GWh/år i referencen for 2025 uden varmepumper kan stort set elimineres
- der skabes nye, potentielle leverandører af regulerkraft
- der opnås et samfundsøkonomisk overskud på ca. 1,5 mia. kr./år, heraf stammer hovedparten fra de individuelle varmepumper.

### 3.5.1 Reduktion af CO<sub>2</sub> og energiforbrug

#### Varmepumper i fjernvarmesystemet

Med i alt 2.000 MJ/s store varmepumper installeret i tilknytning til kraftvarmeværker i 2025, svarende til ca. 15 procent af varmeproduktionen i fjernvarmeområdet, reduceres CO<sub>2</sub>-udslippet med ca. 1,5 mio. ton/år som følge af fortrængning af fossile brændsler og større energieffektivitet.

	Fortrængt brændselsforbrug PJ/år	Øget elforbrug TWh/år	Reduceret CO <sub>2</sub> i el- og fjernvarmesektoren Mio. ton/år
Udbygningseksempel 2025 med varmepumper i fjernvarmesystemet	15	1,5	1,5

Figur 11 Konsekvenser for brændselsforbrug, elforbrug og CO<sub>2</sub>-emissioner med varmepumper i fjernvarmesystemet i forhold til referencen for 2025 uden varmepumper.

#### Varmepumper uden for fjernvarmesystemet

Med implementering af varmepumper svarende til 50 procent af varmebehovet uden for fjernvarmesystemet, reduceres CO<sub>2</sub>-emissionerne uden for fjernvarmesektoren (som er del af de ikke-kvoteomfattede sektorer) med ca. 2 mio. ton/år som følge af fortrængning af fossile brændsler og større energieffektivitet.

	Fortrængt brændselsforbrug PJ/år	Øget elforbrug varmepumper TWh/år	Reduceret CO <sub>2</sub> uden for fjernvarmesektoren Mio. ton/år
Udbygningseksempel 2025 med varmepumper uden for fjernvarmesystemet	38	2,5	2

Figur 12 Konsekvenser for brændselsforbrug, elforbrug og CO<sub>2</sub>-emissioner i den ikke-kvoteomfattede sektor med varmepumper uden for fjernvarmesystemet i forhold til referencen for 2025 uden varmepumper.



### 3.5.2 *Behov for produktionskapacitet*

De tre forskellige måder at drive varmepumperne på, som er beskrevet i afsnit 3.4.1, har betydning for, hvor stor en del af den relativt billige el, der kan anvendes, og hvor stor produktionskapacitet, der skal være til stede på kraftværkerne for at sikre forsyningsikkerheden, når der ikke er vindkraftproduktion.

Elforbruget fratrukket den produktion, der leveres fra vindkraften, betegnes residualforbruget. Produktion, som skal dække dette elforbrug, skal leveres fra termiske kraftværker eller via udlandsforbindelser. Det er derfor relevant at se på, hvor meget ekstra termisk kapacitet det vil kræve at forsyne varmepumper, hvis forsyningsikkerheden (effekttilstrækkeligheden) skal være fastholdt.

Forskellen i de 100 timer om året, hvor der er størst behov for supplement til vindkraftproduktionen mellem driftskoncept 1, som ikke har mulighed for at afbryde varmeproduktionen, og driftskoncept 3, hvor der er mulighed for at afbryde elforbruget i længere tid, er ca. 900 MW for Vestdanmark. Dette svarer til produktionskapaciteten på to store centrale kraftværksblokke.

Driftskoncept 1 har et ekstra kraftigt "spidslast"-forbrug, idet opvarmning i højere grad vil være spidslast, hvor der suppleres med elvarme med en væsentligt lavere effektivitet end for varmepumpen.

### 3.5.3 *Kritisk eloverløb*

#### *Varmepumper i fjernvarmesystemet*

I referencen for 2025 uden varmepumper er der et kritisk eloverløb<sup>12</sup> på ca. 90 GWh/år. I udbygningseksemplet med varmepumper, hvor 15 procent af varmeproduktionen inden for fjernvarmesystemet i 2025 dækkes af varmepumper, reduceres det kritiske eloverløb til under 5 GWh/år.

#### *Varmepumper uden for fjernvarmesystemet*

De tre forskellige driftskoncepter for de individuelle varmepumper har forskellige muligheder for at kunne reducere det kritiske eloverløb. I forhold til referencen for 2025 uden varmepumper, som har et kritisk eloverløb på ca. 90 GWh/år, vil driftskoncept 1 reducere dette overløb til 60 GWh/år. Driftskoncepterne 2 og 3 vil reducere det kritiske eloverløb til ca. 9 GWh/år. De individuelle varmepumper kan altså bidrage betydeligt til en bedre udnyttelse af vindkraften og reduktion af det kritiske eloverløb.

<sup>12</sup> Ved kritisk eloverløb forstås den overskydende elproduktion, der ikke er afsætningsfor i et område og som heller ikke kan eksporteres ud af området.

#### 3.5.4 Forsyningssikkerhed

Individuelle varmepumper i tilknytning til et vandbåret system er mere fleksible og giver mulighed for at afbryde varmeproduktionen i et kortere tidsrum, hvilket giver en højere forsyningssikkerhed.

#### 3.5.5 Behov for udbygning af elnettet

##### *Varmepumper i fjernvarmesystemet*

Varmepumper inden for fjernvarmesystemet vil i vidt omfang blive installeret i forbindelse med kraftværker (centrale og decentrale). I disse punkter er elnettet typisk relativt stærkt, og behovet for forstærkning vil være begrænset. Effektreningen vil i timer med høj vindkraftproduktion ændre sig fra produktion på kraftvarmeanlæg til forbrug på varmepumper. Der er i denne analyse ikke lavet en nærmere analyse af forstærkningsbehovet i elnettet ved de enkelte kraftværkspladser.

##### *Varmepumper uden for fjernvarmesystemet*

En markant udbygning med individuelle varmepumper kan visse steder medføre et behov for forstærkning af elnettet på distributionsniveau. Driftskonceptet har stor betydning for, hvilken merbelastning af elnettet der kan forventes. I driftskoncept 2 og driftskoncept 3 er der fleksibilitet i elforbruget, og driften kan i meget højere grad tilpasses øvrig spidsbelastning i elforsyningen – og dermed minimere behovet for forstærkning af elnettet. I driftskoncept 1 er der ikke samme fleksibilitet.

#### 3.5.6 Regulerkraft

I elsystemet skal der være øjeblikkelig balance mellem elforbruget og elproduktionen. Det er Energinet.dk's opgave at sikre denne balance dels ved det overordnede design af elsystemet, dels ved indkøb af elreserver. Regulerkraft er de elreserver, der skal anvendes for at sikre denne balance.

##### *Varmepumper i fjernvarmesystemet*

De centrale varmepumper giver en meget høj grad af fleksibilitet i elsystemet. Elforbruget kan reguleres inden for nogle minutter, og fjernvarmeproducenten har typisk alternative varmeproduktionsmuligheder (kraftvarme og kedler). Samtidig har fjernvarmeforsyningen gode akkumuleringsmuligheder og kan tilpasse produktionen over nogle dage. Det giver gode muligheder for at bruge de centrale varmepumper til at levere regulerkraft til elsystemet. Der er i denne analyse ikke indregnet værdien af disse regulerkraftydelse fra centrale varmepumper.

##### *Varmepumper uden for fjernvarmesystemet*

De individuelle varmepumper kan regulere elforbruget inden for et minut, hvis behovet for varmeproduktion er fleksibelt som i driftskoncepterne 2 og 3.

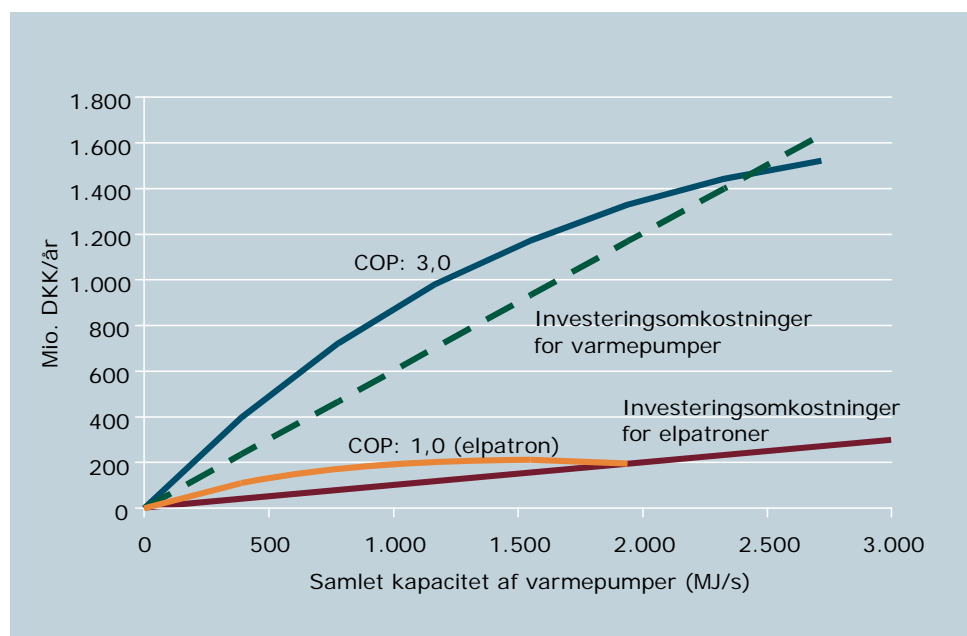
Driftskoncept 1 giver ikke mulighed for at afbryde varmeproduktionen og flytte elforbruget uden væsentlige komforttab.

Ved at pulje et større antal individuelle varmepumper i modellerne 2 og 3 med mulighed for styring af en balanceansvarlig aktør eller direkte via markedssignaler kan de principielt bidrage til at levere balanceringsydelser. Der er dog ikke indregnet en værdi af denne mulighed.

### 3.5.7 Samfundsøkonomiske fordele

#### Varmepumper inden for fjernvarmesystemet

Der er foretaget beregninger af samfundsøkonomiske indtægter og udgifter ved forskellige grader af udbygning med store varmepumper i fjernvarmeforsyningen i 2025. Der er analyseret en udbygning på op til 3.000 MJ/s varmekapacitet. Resultatet af analysen fremgår af Figur 13.



Figur 13 Samfundsøkonomiske indtægter og udgifter ved en udbygning med store varmepumper i fjernvarmeforsyningen.

De samfundsøkonomiske indtægter er beregnet som sparede omkostninger<sup>13</sup> til brændsel, CO<sub>2</sub>, samt drift- og vedligehold af kraftvarmeanlæg og kedler.

Som det fremgår af Figur 13, er der et samfundsøkonomisk overskud ved en investering i varmepumper op til 2.500 MJ/s produktionskapacitet.

Samlet set giver implementeringen af 2.000 MJ/s varmepumper i fjernvarmesystemet et samfundsøkonomisk overskud på ca. 300 mio. kr./år.

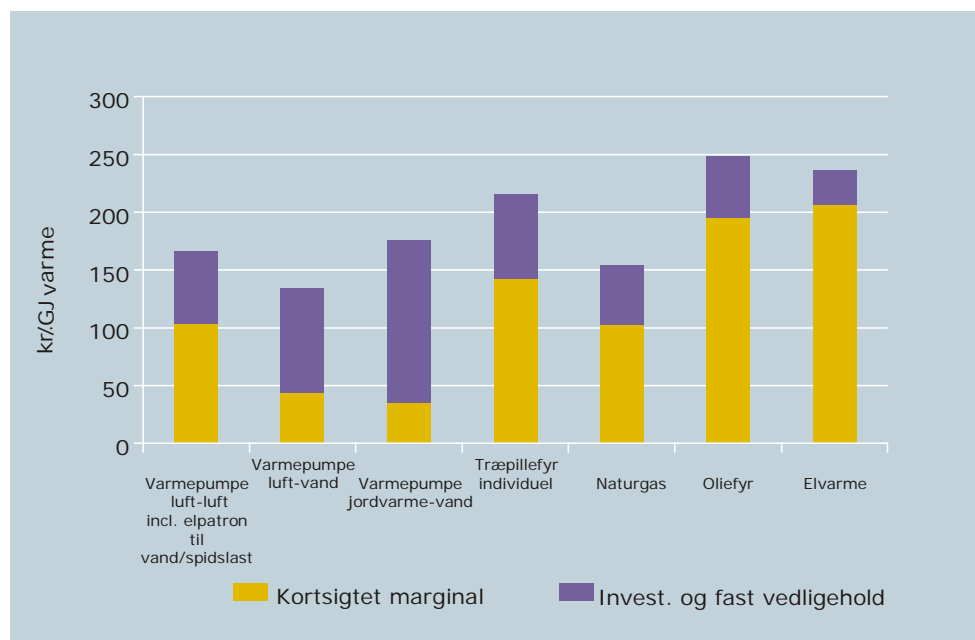
<sup>13</sup> Omkostningerne er baseret på data fra Teknologikataloget 2005.

Der er lavet en tilsvarende vurdering af samfundsøkonomien i en udbygning med flere elpatroner i fjernvarmesystemet. Elpatronerne kan på kort sigt give et samfundsøkonomisk overskud og bidrage til reduktion af el-overløbet. Men elpatronerne har en lav effektivitet set i forhold til varmepumperne og kan som sådan ikke bidrage til en effektiv udnyttelse af elproduktionen fra en stigende andel af vindkraft.

#### Varmepumper uden for fjernvarmesystemet

Samlet set er en markant udbygning med varmepumper uden for fjernvarmeområderne en samfundsøkonomisk god investering set i samspil med det elsystem, som en udbygning med mere vindkraft vil give.

Af Figur 14 fremgår de samfundsøkonomiske omkostninger ved alternative, individuelle opvarmningsformer i et 2025-energisystem.



Figur 14 Kortsigtede og langsigtede marginale produktionsomkostninger ved alternative individuelle varmforsyningsløsninger.

Som det fremgår af Figur 14, er individuelle varmepumper et samfundsøkonomisk godt alternativ til olie- og elvarme. Varmepumper vil give en høj fleksibilitet i energiforsyningen og høj energieffektivitet i forhold til træpillekedler. Træpillekedlerne er ikke billigere rent samfundsøkonomisk, og ud fra en samlet energisystembetragtning vil varmepumper være et bedre valg. Naturgaskedler ligger på linje eller er billigere end individuelle varmepumper i langsigtede omkostninger, men er væsentlig dyrere i marginale produktionsomkostninger. I naturgasområder kan det dermed være hensigtsmæssigt at anvende varmepumper til opvarmning, hvis der findes eller installeres "kompressor"-kapacitet, eksempelvis i bygninger med klima-/køleanlæg eller eventuelt i forbindelse med reinvestering af naturgaskedel.

Den intelligente drift af varmepumper (driftskoncept 2) reducerer omkostningerne med ca. 300 mio. kr./år sammenlignet med den simple drift af varmepumperne (driftskoncept 1). Der er stor usikkerhed på skøn af investeringsomkostninger i varmepumpeløsningerne. Selve varmepumpen er i de senere år kommet markant ned i prisleje, så størstedelen af investeringen i dag vedrører installationsomkostninger. I fremtidige standardkoncepter med ventilations-/klimaanlæg i bygninger kan merprisen ved en integreret varmepumpe derfor blive væsentlig mindre. Varmepumpens fordel er her, at "energidelen" af omkostningen er relativt lav på grund af den høje effektivitet. Ved driftskoncept 2 bliver det samlede samfundsøkonomiske overskud ved implementering af individuelle varmepumper ca. 1,2 mia. kr./år.

En væsentlig del af elforbruget til vask, opvask, små vandvarmere med videre er reelt "skjulte" elvarmeforbrug, der i princippet kan sammen tænkes med fremtidens fleksible varmeforsyninger. Ved at tilslutte disse elforbrugskilder til den fleksible varmeforsyning via varmtvandsindtag flyttes elforbruget til opvarmning af vandet til et tidspunkt uden for elsystemets spidslast. Samtidig udnyttes den høje effektivitet i varmeproduktionsløsningerne baseret på varmepumper, jf. figur 7 set i forhold til elvarmepatronen i vaskemaskinen med videre.

En samlet betragtning af varmepumpens gode samfundsøkonomi, høje energieffektivitet og fleksibilitet over for vedvarende energikilder gør det relevant at indtænke den som en hovedkomponent i fremtidens energiforsyning.

### **3.6 Barrierer, udfordringer og løsningsmuligheder**

På baggrund af analysen af samspillet mellem elsystemet og varmesektoren, kan det overordnet konkluderes, at:

- Der er et væsentligt samfundsøkonomisk overskud ved en kraftig udbygning med varmepumper til fjernvarme op til en kapacitet på 2.000 MJ/s. Overskuddet består i sparede omkostninger til brændsel, CO<sub>2</sub> samt drift og vedligehold af kraftvarmeanlæg og kedler. I forhold til den langsigtede vision om uafhængighed af fossile brændsler er varmepumper i fjernvarmeområderne et meget effektivt virkemiddel.
- En udbygning med individuelle varmepumper i områder uden kollektiv forsyning er ligeledes en samfundsøkonomisk god investering set i samspil med det elsystem, som en udbygning med vindkraft vil give. Med udgangspunkt i varmepumpens gode varmeøkonomi, høje energieffektivitet og fulde fleksibilitet over for alle vedvarende energiformer, der kan blive til el, er det relevant at indtænke varmepumpen som en hovedkomponent i fremtidens energiforsyning.

Der er imidlertid en række barrierer for, at varmepumpens potentiale kan realiseres. Energinet.dk ser umiddelbart følgende barrierer og løsningsmuligheder:

Barrierer og udfordringer	Løsningsmuligheder
<p><b>Teknologivalg og driftskoncept</b> Varmepumper med meget begrænset fleksibilitet i tidspunkt for varmeproduktion (eksempelvis luft-luft varmepumper) understøtter ikke mulighederne for fleksibelt elforbrug og dermed integration af vindkraft. Da en varmepumpe typisk har en levetid på 20 år, er det vigtigt allerede nu at sikre en udvikling mod de fleksible varmepumpeløsninger.</p>	<p>Den samfundsmæssige værdi af forbrugernes valg af teknologi med eller uden mulighed for fleksibelt elforbrug og dermed integration af vindkraft analyseres.</p> <p>Systemperspektiver for varmepumper til individuel opvarmning tænkes ind i udviklingen af fremtidens individuelle varmeforsyningsløsninger.</p>
<p><b>Slutbrugerafregning</b> Afregning til en fast elpris giver ikke forbrugerne incitament til fleksibelt elforbrug i timer, hvor markedsprisen på el er lav.</p>	<p>Øget adgang og incitament for forbrugerne til timeafregnet elforbrug – eventuel mulighed for afbrydeligt forbrug hos forbrugerne.</p> <p>Intelligente elmålere (adgang til online-måling) vil bidrage til at skabe incitament til fleksibelt elforbrug.</p>
<p><b>Tariffer</b> En udbygning med individuelle varmepumper kan medføre en øget belastning af distributionsnettet. Belastningen afhænger af driftsprofilen. Tarifstrukturen har betydning for driftsøkonomien ved fleksibel drift af varmepumpen</p>	<p>Tarifstrukturen baseres på den samlede belastning i nettet og skal løbende analyseres med henblik på at sikre, at den er omkostningsægte.</p>
<p><b>Afgifter</b> Individuelle biomassefyr er i dag fritaget for energiafgift. Produktion af el fra vindkraft belægges derimod med afgift i elforbrugsledet, hvis den anvendes i individuelle varmepumper.</p> <p>Individuelle biomasseløsninger er energi- og samfundsøkonomisk mindre fordelagtige end individuelle varmepumper drevet af VE-baseret el.</p> <p>Individuelle varmepumper er energieffektive og samfundsøkonomisk mere fordelagtige end elpatroner.</p>	<p>I den sammenhæng er det relevant at bemærke, at Skatteministeriet og Energi styrelsen allerede har iværksat en uafhængig undersøgelse om indplacering af stigende mængder VE i elsystemet. Analysen skal blandt andet beskrive eventuelle principielle aftale-, tarif-, og afgiftsmæssige barrierer, der hindrer en omkostningseffektiv og miljømæssig forsvarlig fremstilling og anvendelse af el.</p>

**Energinet.dk bidrager til udvikling af relevante løsninger ved, at:**

- Energinet.dk deltager i arbejdsgrupper nedsat af Energistyrelsen, der medio 2009 skal komme med forslag til udvikling af fremtidens intelligente elmålere.
- Energinet.dk har taget initiativ til en række projekter, der søger at bidrage til udvikling af et elsystem og -marked, der understøtter realiseringen af de potentielle energi- og samfundsøkonomiske fordele, der ligger i at sammentænke elsystemet med varmesektoren i form af:
  - "Fremtidens elsystem 2025". Projektet undersøger blandt andet, hvordan varmepumperne kan aktiveres som en aktiv ressource for elsystemet.
  - Samarbejdsprojekt med NRGi vedrørende analyse af behovet for kapacitetsudvidelser i distributionsnettet ved udbygning med individuelle varmepumper og elbiler.
  - Samarbejdsprojekter med varmesektoren vedrørende store varmepumper i fjernvarmesystemet.
- Energinet.dk vil tage initiativ til en analyse, der identificerer måder at understøtte et samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt teknologivalg til varmepumper fremadrettet. Analysen skal pege på, hvordan varmepumper kan indgå som en hovedkomponent i fremtidens energiforsyning – 'Fremtidens varmepumpeprojekt'.

Analysen skal blandt andet undersøge den energi- og samfundsøkonomiske værdi af de forskellige teknologiske muligheder inden for varmepumpe-teknologien til det private marked i samspil med elsystemet.

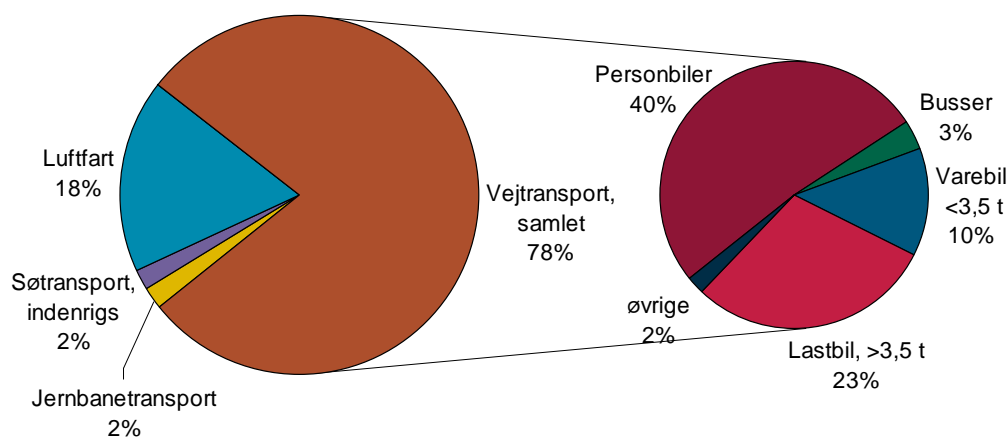
Energinet.dk vil invitere relevante aktører til et samarbejde omkring denne analyse.

## 4. Sammentænkning af el- og transportsektoren

I dette kapitel analyseres mulighederne for at integrere el (med et højt og stigende indhold af vindkraft) i den danske transportsektor med henblik på at reducere afhængigheden af fossile brændsler. Med udgangspunkt i den danske transportsektor i dag beskriver kapitlet perspektiverne i et samspil mellem el- og transportsektoren. Desuden beskrives de barrierer, som Energinet.dk ser for implementeringen af elbiler, og på baggrund af disse barrierer præsenteres en række anbefalinger.

### 4.1 Den danske transportsektor i dag

Transportsektoren har i dag et samlet energiforbrug på ca. 25 procent af Danmarks samlede energiforbrug, som er på omkring 880 PJ/år. Transportsektoren er i dag næsten udelukkende baseret på oliebaseerede brændsler. I forhold til målsætningen om reduktion af afhængigheden af fossile brændsler udgør transportsektoren derfor en central udfordring.

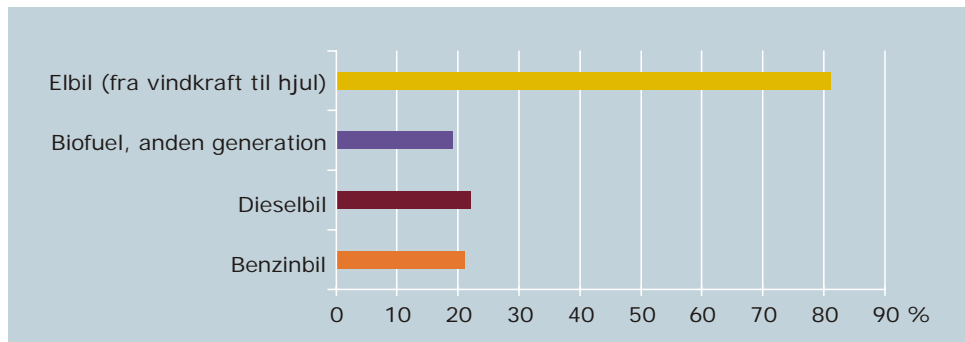


Figur 15 Fordeling af energiforbrug i transportsektoren i 2007 – med vejtransport i udsnit.  
Kilde: Energistyrelsen.

Som det fremgår af Figur 15 udgør vejtransportens energiforbrug størstedelen af transportsektorens samlede energiforbrug. Energiforbruget til vejtransport er ca. 170 PJ/år, hvilket svarer til ca. 20 procent af Danmarks samlede bruttoenergiforbrug. Der er flere teknologispør, der kan bidrage med alternativer til en oliebaseeret brændselsforsyning i transportsektoren.<sup>14</sup> Denne rapport fokuserer alene på mulighederne for at reducere vejtransportens samlede energiforbrug ved anvendelse af el som drivmiddel. Anvendelsen af el som drivmiddel er i dag begrænset til elektrificeret togtransport.

<sup>14</sup> 2. og 3. generations biobrændstoffer, biogas, brint mm. Det forventes, at flere af disse bringes i spil sammen med elbaseerede løsninger, når transportsektoren skal omlægges fra oliebaseerede brændsler.





Figur 16 Transportteknologiernes energieffektivitet.

Batteridrevne elbiler har en meget høj energieffektivitet og kan derfor bidrage væsentligt til at reducere afhængigheden af fossile brændsler. Det vil samtidig betyde en lavere CO<sub>2</sub>-udledning fra transportsektoren og bidrage til at øge andelen af vedvarende energi i transportsektoren. Samtidig vil øget fleksibelt elforbrug og -produktion i transportsektoren understøtte en integration af øgede mængder vindkraft i elsystemet.

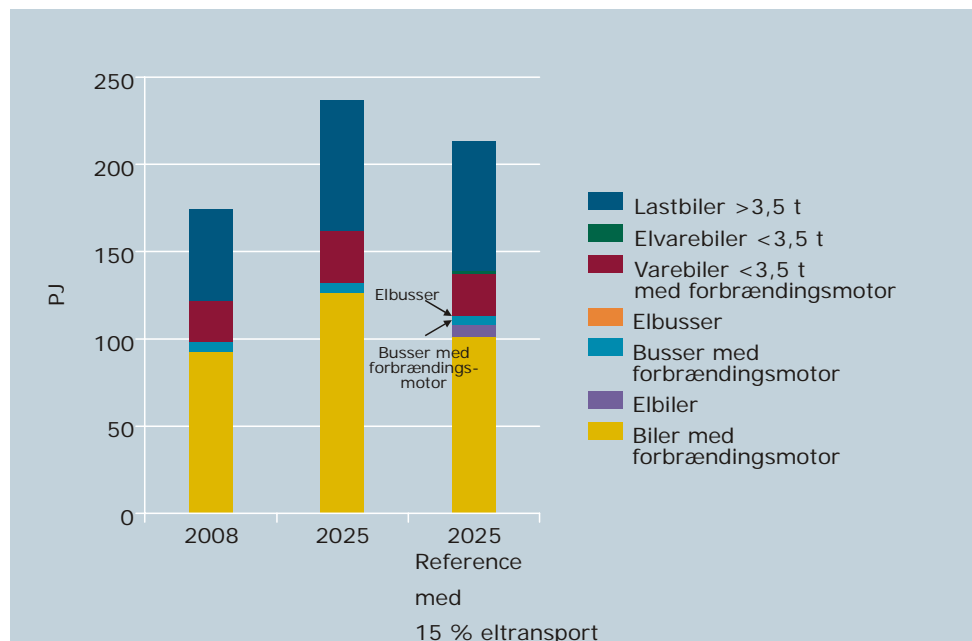
#### 4.2 Samspil mellem el- og transportsektoren i 2025

Ved en fuldstændig omlægning af vejtransporten til elbiler vil det samlede elforbrug være af størrelsesordenen 10-14 TWh/år. En udnyttelse af dette potentiale for nyt fleksibelt elforbrug vil have en markant positiv effekt i forhold til indpasningen af vindkraft i elsystemet. Til sammenligning er det årlige elforbrug i Danmark i dag ca. 37 TWh.

I denne rapport anvendes et udbygningseksempel med elbiler i 2025, hvor en andel på 15 procent af vejtransportens samlede energiforbrug dækkes af el. Denne andel kan opnås ved flere forskellige kombinationer af el anvendt i vejtransportteknologierne. I denne rapport er der regnet på et udbygningseksempel, hvor 25 procent af transportarbejdet for personbilerne i 2025 er eldrevet, 15 procent af varebilernes (under 3,5 ton) transportarbejde er eldrevet, og 15 procent af bussernes kørsel er eldrevet. Hvor mange køretøjer dette svarer til afhænger af, hvilke biltyper der indføres, men det forventes at være omkring 600.000-900.000 køretøjer.

Det samlede elforbrug til eldrevne køretøjer i udbygningseksemplet med elbiler svarer til et elforbrug på 2,6 TWh/år.

Der er ikke taget stilling til, hvor stor en andel af det beskrevne transportarbejde, der udføres med henholdsvis batteridrevne elbiler og hybridbiler, der kombinerer el med et andet brændstof som drivmiddel. Den forventede udvikling i vejtransporten i 2025 for henholdsvis referencen for 2025 uden elbiler og udbygningseksemplet i 2025 med elbiler, i forhold til 2008, er illustreret i Figur 17.



Figur 17 Energiforbrug i transportsektoren.

I det følgende er alle analyser udført for udbygningseksemplet i 2025 med elbiler og sammenlignet med henholdsvis i dag og referencen i 2025 uden elbiler.

#### 4.2.1 Ladekoncepter for elbiler

Der findes forskellige løsninger på, hvordan elbilers samspil med elsystemet og elmarkedet kan udformes. Muligheden og tidspunktet for opladning – og især effektforbruget ved opladningen – har store perspektiver for elsystemet, fordi energioverførsel ved opladning kan styres og tilpasses udbuddet af el. Elmarkedet ses som en god facilitator af denne styring.

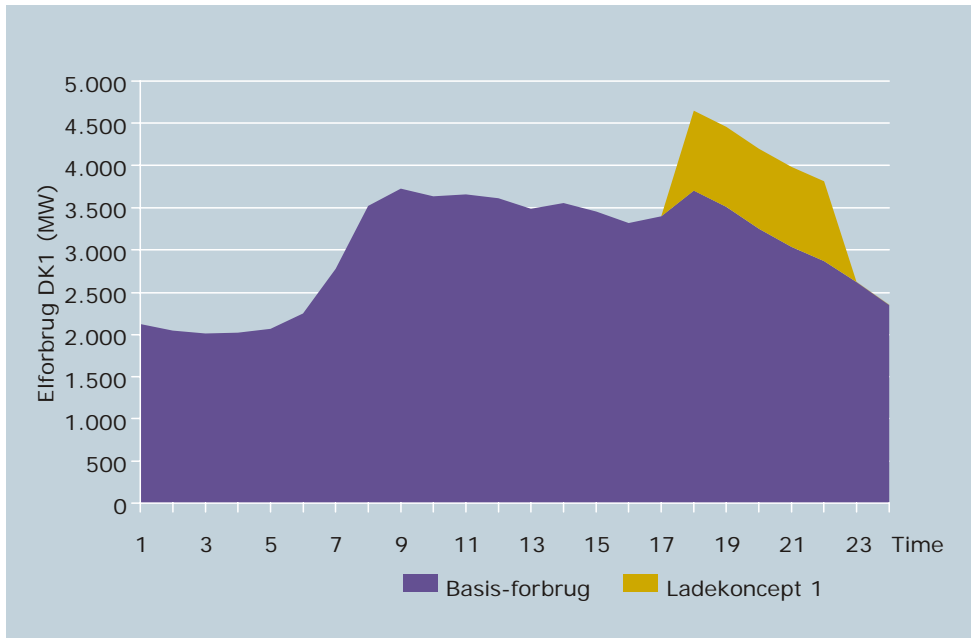
Derfor er der i denne rapport fokuseret på følgende former for opladning af elbiler:

- Individuel opladestation, hvor opladningen foregår ved private hjem eller på arbejdspladsen
- Central opladestation, hvor et større antal biler kan oplades, fx ved parkeringshuse eller store indkøbscentre
- Batteriskiftestation, hvor et afladet batteri kan ombyttes til et opladet på få minutter

Til illustration af konsekvenser af forskellige mulige opladningsforløb tager Energinet.dk's analyse afsæt i tre forskellige opladningsforløb for elbilerne:

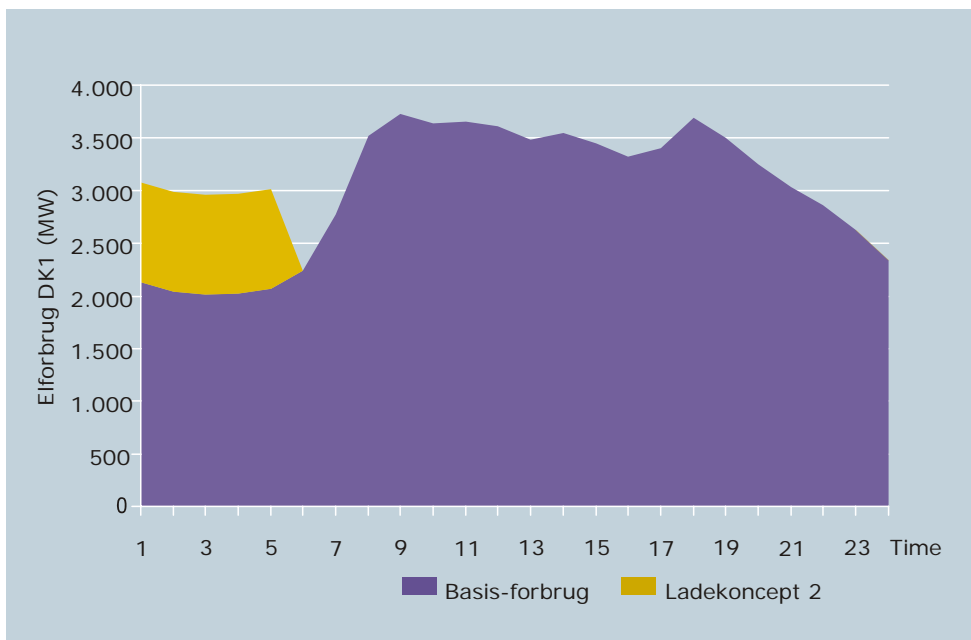
*Ladekoncept 1 – simpel opladning:*

Elbilerne oplades, når forbrugerne ønsker det uden hensyn til den øjeblikkelige elpris. Opladningen forventes typisk at finde sted, når folk kommer hjem fra arbejde, i tidsrummet kl. 17.00-21.00.



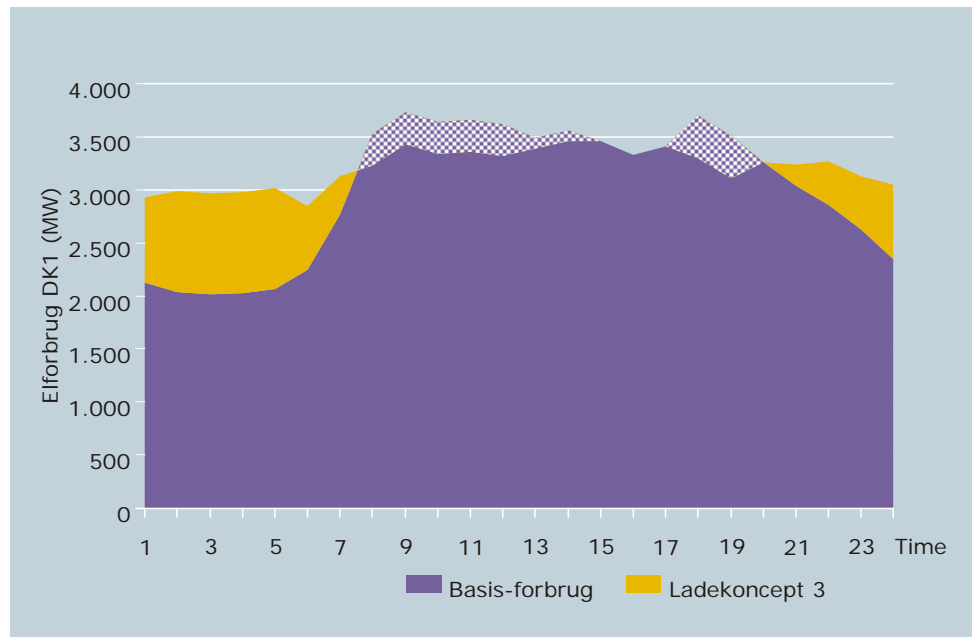
*Ladekoncept 2 – intelligent opladning:*

Elbilerne oplader, når elektriciteten er billigst – typisk i situationer med stor vindkraftproduktion. Her sker opladningen, når elektriciteten er billigst, typisk efter midnat og frem til kl. 07.00.



### Ladekoncept 3 – intelligent opladning med el til nettet:

Elbilerne oplader, når elprisen er lav. Derudover kan elbilens batteri levere strøm tilbage i elsystemet, når elprisen er høj. Dermed kan elbilens batteri bidrage til at balancere det samlede elsystem – typisk i tidsrummet 09.00-13.00 og tidsrummet 16.00-20.00. Det stiplede areal viser det elforbrug, som kan leveres fra elbilerne.



### 4.3 Resultat af analysen

I dette afsnit præsenteres resultaterne af analysen af udbygningseksemplet med elbiler i 2025. Ligesom i analyserne af varmepumper er der taget udgangspunkt i følgende parametre:

- Reduktion af CO<sub>2</sub> og energiforbrug
- Behov for produktionskapacitet
- Kritisk eloverløb
- Forsyningsikkerhed
- Behov for udbygning af elnettet
- Regulerkraft til elsystemet
- Samfundsøkonomiske fordele

Kort opsummeret betyder et intelligent samspil mellem el- og transportsektoren med en implementering af elbiler svarende til 25 procent af transportbehovet i vejtransportsektoren i 2025, at:

- CO<sub>2</sub>-emissionerne fra vejtransporten reduceres med ca. 2 mio. ton/år
- Det kritiske eloverløb på 90 GWh/år i referencen for 2025 uden elbiler kan elimineres helt
- Forsyningsikkerheden i elsystemet øges

- Nye potentielle leverandører af regulerkraft
- Der kan opnås et samfundsøkonomisk overskud på ca. 1,1 mia. kr./år<sup>15</sup>, hvis elbilerne integreres intelligently med elsystemet. Hvis der ikke indbygges intelligens i elbilernes samspil med elsystemet og elmarkedet, vil implementeringen af elbiler i dette eksempel medføre en samfundsøkonomisk omkostning på ca. 300 mio. kr./år.

#### 4.3.1 Reduktion af CO<sub>2</sub> og energiforbrug

Udbygningen med elbiler giver en reduktion af CO<sub>2</sub> i transportsektoren på ca. 2 mio. ton/år i 2025 og en reduktion af brændstofforbruget (benzin og diesel) til transport på 32 PJ/år. Til sammenligning er det samlede energiforbrug til vejtransport i dag ca. 170 PJ/år, og transportsektorens samlede CO<sub>2</sub>-emissioner er ca. 13 mio. ton/år.

	Fortrængt brændstofforbrug til vejtransport	Elforbrug til vejtransport	Reduceret CO <sub>2</sub> i transportsektoren
	PJ/år	TWh/år	Mio. ton/år
Udbygningseksempel 2025 med omlægning af til elbiler	32	2,5	2

Figur 18 Konsekvenser for brændstofforbrug, elforbrug, og CO<sub>2</sub>-emissioner i transportsektoren ved omlægning af 25 procent af transportarbejdet til el.

#### 4.3.2 Behov for elproduktionskapacitet

De tre forskellige opladningskoncepter, der er nævnt ovenfor, har stor betydning for, hvor stor produktionskapacitet/kapacitet på udvekslingsforbindelser der skal være til stede for at sikre tilstrækkelig effekt i perioder uden vind.

Elforbruget fratrukket den produktion, der leveres fra vindkraften, betegnes residualforbruget. Dette forbrug skal leveres fra termiske kraftværker, decentrale kraftvarmeværker eller via udlandsforbindelser. Afhængigt af opladningskonceptet (graden af intelligens) for elbilerne vil behovet for kapacitet variere. Det er derfor relevant at se på, hvor meget ekstra kapacitet der skal være til rådighed for at forsyne elbilerne – under forudsætning af, at forsyningssikkerheden (effekttilstrækkeligheden) skal fastholdes.

##### Ladekoncept 1 – simpel ladning:

Ved en simpel opladning, hvor elbilerne lader fra kl. 17.00-21.00, fås det mest uhensigtsmæssige forløb. Her vil der være behov for at øge den

<sup>15</sup> Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

maksimal effekt med ca. 1.000 MW. Det svarer til to store centrale kraftværksblokke eller en udvidelse af kapaciteten til udlandet svarende til omkring to nye udvekslingsforbindelser.

#### *Ladekoncept 2 – intelligent ladning:*

Ved at optimere ladeforløbet til de timer i døgnet, der forventes at være de billigste, vil opladningen medføre et behov for at øge den maksimale effekt med ca. 500 MW.

#### *Ladekoncept 3 – intelligent ladning med el til nettet:*

Her udnyttes det, at bilerne kan levere effekt til nettet. Ved dette ladekoncept kan opladningen potentielt ske uden at udbygge med elkapacitet i forhold til referencen uden elbiler. Det er her antaget, at elbilerne via markedssignaler prioriterer at levere effekt til nettet i de timer, hvor elprisen er høj (og residualforbruget er særligt højt). I dette ladekoncept antages det endvidere, at elbilerne kan levere regulerkraftydelse til elsystemet.

Ved at optimere opladningsforløbet til elsystemets tilstand kan der altså spares relativt store investeringer eller reinvesteringer i kraftværkskapacitet.

#### *4.3.3 Kritisk eloverløb*

I referencen for 2025 uden varmpumper og elbiler er der et kritisk eloverløb<sup>16</sup> på ca. 90 GWh/år. I udbygningseksemplet for 2025, hvor 25 procent af vejtransporten dækkes af elbiler, vil elbilerne ved ladekoncept 1 reducere det kritiske eloverløb med 5 GWh/år, så det kritiske eloverløb bliver 85 GWh/år. Ved ladekoncept 2 reduceres det kritiske eloverløb til i alt 9 GWh/år. Ladekoncept 3 vil helt eliminere det kritiske eloverløb. Det er altså helt afgørende for maksimering af værdien af den nye vindkraft, at elbilerne tænkes intelligent sammen med elsystemet.

#### *4.3.4 Forsyningssikkerhed*

Hvis der ikke foretages en forstærkning af elinfrastrukturen og produktionskapaciteten ved ladekoncept 1 og ladekoncept 2, vil forsyningssikkerheden blive reduceret.

Energinet.dk's beregninger viser, at forsyningssikkerheden i langt højere grad kan fastholdes på samme niveau som referencen uden elbiler, hvis der lades efter ladekoncept 3, hvor elbilerne kan levere effekt til nettet.

Det kræver flere omfattende analyser at lave en mere præcis vurdering af perspektiverne med hensyn til forsyningssikkerhed. Energinet.dk vil fremadrettet analysere forsyningssikkerhed i samspil med elbiler mere detaljeret.

<sup>16</sup> Ved kritisk eloverløb forstås den overskydende elproduktion, der ikke er afsætningsfor i et område, og som heller ikke kan eksporteres ud af området.

#### 4.3.5 *Behov for udbygning af elnettet*

De forskellige opladningsforløb har stor betydning for behovet for kapacitet til at distribuere eleffekten ud til forbrug.

Ved ladekoncept 1 vil elforbruget ske uden hensyn til den øvrige belastning af elsystemet og medføre et øget elforbrug i spidslastperioden. På distributionsniveau kan der være behov for at forstærke elsystemet, idet forbruget typisk vil ligge samtidig med et spidslastforbrug i perioden mellem kl. 16.00-19.00. Ved at placere ladning på tidspunkter med lave elpriser (ladekoncepterne 2 og 3) vil opladningen typisk ligge uden for spidsbelastningen. Systemprissignalet tager dog ikke højde for lokale flaskehalse i distributionsnettet. I model 3 er det endvidere antaget, at elnettet kan håndtere lokale flaskehalse dynamisk med prissignal.

#### 4.3.6 *Regulerkraft og øvrige ydelser til elsystemet*

I elsystemet skal der være øjeblikkelig balance mellem elforbruget og elproduktionen. Det er Energinet.dk's opgave at sikre denne balance dels ved det overordnede design af elsystemet, dels ved indkøb af elreserver. Regulerkraft er de elreserver, der skal anvendes for at sikre denne balance.

Elbiler har et stort potentiale for at levere regulerkraft. Der er dog store usikkerheder forbundet med at vurdere værdien af elbilernes regulerkraftegenskaber. I ladekoncepterne 1 og 2 er det ikke antaget, at elbilen kan levere nogen form for systemydelser. Ved ladekoncept 3 anslås den samlede regulerkraft-værdi (samfundsøkonomisk set) for elbilerne til at være mellem 50-150 kr./MWh i udbygningseksempel med elbiler.

Elbilerne kan potentielt levere en række øvrige systembærende egenskaber til elsystemet. Der i denne sammenhæng ikke lavet en vurdering af værdien af disse ydelser.

#### 4.3.7 *Samfundsøkonomiske fordele*

I det følgende præsenteres de samfundsøkonomiske omkostninger for elbiler udtrykt i kr. pr. km<sup>17</sup>.

Der er i økonomiberegningen for elbilerne antaget en investeringspris for 2020 baseret på rapporten "Alternative drivmidler i transportsekten"<sup>18</sup>. Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

Omkostningerne til energi reduceres fra ca. 0,34 kr./km i referencen for 2025 uden elbiler til ca. 0,29 kr./km i udbygningseksemplet med elbiler, hvis elbilerne lades efter ladekoncept 3. For ladekoncept 1 stiger de sam-

<sup>17</sup> Enheden kan omregnes til kr./GJ mekanisk energi under antagelsen, at en gennemsnitsbil kører 18.000 km på 6,5 GJ, jf. rapporten "Alternative drivmidler i transportsektoren", Energistyrelsen 2008.

<sup>18</sup> Energistyrelsen, 2008.

fundsøkonomiske omkostninger til ca. 0,36 kr./km, og for ladekoncept 2 falder de samlede samfundsøkonomiske omkostninger til ca. 0,33 kr./km.

Økonomi, ekskl. styring/-drift af elbilsopladning	Referencebil Benzin/diesel	Ladekoncept 1 Simpel ladning	Ladekoncept 2 Døgnoptimeret ladning	Ladekoncept 3 Optimeret med V2G
Investering ift. reference	0,0	7,4	7,4	7,4
Energisystem, inkl. systemydelse	7,3	2,4	1,8	1,0
Værdi af reduceret støj og lokal emission	0,0	-2,1	-2,1	-2,1
<b>Mia. kr./år</b>	<b>7,3</b>	<b>7,6</b>	<b>7,0</b>	<b>6,2</b>
<b>Kr./km</b>	<b>0,34</b>	<b>0,36</b>	<b>0,33</b>	<b>0,29</b>

Figur 19 Samfundsøkonomiske nøgletal for elbiler ved forskellige ladekoncepter.

Den potentielle økonomiske gevinst ved at gå fra ladekoncept 1 til 3 er ca. 1,4 mia. kr./år, eksklusiv de omkostninger, der er forbundet med styring/drift af elbilsopladning og særlige omkostninger til nettet ved eventuel levering af effekt fra elbilerne til elnettet. Disse forhold skal undersøges nærmere. Det er således ikke givet, at en fuld realisering af koncept 3 er omkostningseffektiv. Energinet.dk vil via forskningsprojekter og i samarbejde med Dansk Energi og netselskaber undersøge særlige problemstillinger ved disse muligheder.

Elbilerne kan i driftskoncept 3 potentielt levere en række øvrige systembærende egenskaber for elsystemet. Energinet.dk betaler i dag relativt store beløb for at holde centrale værker kørende, alene for at opretholde balancen og svingmassen i elsystemet. Denne potentielle værdi fra elbilerne er ikke indregnet i den samfundsøkonomiske vurdering.

Den potentielle gevinst ved at gå fra koncept 1 til koncept 3 fordeler sig på ca. 1/3 fra reducerede spot-timepriser, ca. 1/3 fra værdi af regulerkraftydelse og ca. 1/3 fra sparede omkostninger til at forstærke produktionskapacitet med videre for at fastholde forsyningssikkerheden på det nuværende niveau.



Lader elbilerne efter koncept 3, vil det samfundsøkonomiske overskud være ca. 1,1 mia. kr./år.<sup>19</sup> Hvis der ikke indbygges intelligens i samspillet mellem elbilerne og elsystemet (ladekoncept 1), vil integrationen af elbilerne i dette eksempel medføre en samfundsøkonomisk omkostning på ca. 300 mio. kr./år.

De opstillede ladekoncepter er rendyrkede eksempler. Det vil være muligt at kombinere systemmulighederne, og det kan være relevant at analysere ladekoncepter, som er en mellemting mellem eksempelvis koncepterne 2 og 3, nærmere.

Det skal endvidere analyseres, om udgifterne ved at udvikle det mere komplicerede ladekoncept 3 er for høje i forhold til gevinsterne.

Omkostninger til investering i drivsystem/batteri er baseret på 2020-tal som et gennemsnit, idet bilparken i 2025 vil være en blanding af elbiler med forskellig alder. Hvis omkostningerne fastsættes til 2025-niveau, jf. "Alternative drivmidler til transportsektoren", vil det samfundsøkonomiske overskud være over 3 mia. kr./år ved ladekoncept 3.

#### 4.4 Barrierer, udfordringer og løsningsmuligheder

På baggrund af analysen af samspillet mellem elsystemet og transportsektoren, kan det overordnet konkluderes, at:

Elbiler har et stort samfundsøkonomisk potentiale at bidrage med i forhold til at integrere store mængder vindbaseret el i fremtidens energisystem. De samfundsmæssige omkostninger til energi til transport kan reduceres med op til 1,1 mia. kr./år ved det mest optimale samspil mellem elsystemet og elbilerne, hvor elbilerne reagerer på markedssignalerne og potentielt kan levere systemtjenester til elsystemet. Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

- I forhold til den langsigtede vision om uafhængighed af fossile brændsler, er elbilen et meget effektivt virkemiddel.
- Den samfundsøkonomiske gevinst afhænger dog i høj grad af, hvilket ladekoncept der implementeres. Generelt kan det siges, at jo mere intelligens, der indbygges i kommunikationen mellem elbilen og elsystemet, jo større bliver de samfundsøkonomiske fordele.

Der er dog en række barrierer og forhold, der skal håndteres, for at elbilens potentiale kan realiseres. Helt overordnet forudsættes det, at elbilen bliver markedsmoden inden for de kommende år. Energinet.dk ser derudover følgende barrierer og løsningsmuligheder:

<sup>19</sup> Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

Barrierer og udfordringer	Løsningsmuligheder
<p><b>Infrastruktur</b></p> <p>Der er i dag ingen overordnet infra- struktur på plads, som tillader opladning af elbiler.</p> <p>Der er ikke udviklet standard for net- tilslutning af elbiler.</p>	<p>Hurtigtarbejdende (internationalt) standar- diseringsarbejde om grundlaget for de markedsræssige og tekniske forudsætnin- ger for måle- og afregningsstrukturer for elbiler.</p> <p>Arbejdet skal sikre fri og åben markedsad- gang, og at der udvikles åbne standarder for tilslutningsteknologi/-koncepter til elbi- ler, så der bliver lige adgang for alle typer af elbiler.</p> <p>Der skal sikres nem adgang til ladefacilite- ter, idet elbilerne kun kan fungere som ak- tiv ressource, når den er tilsluttet elnettet.</p> <p>En af markedet uafhængig myndighed bør gives beføjelser til at sikre markedsaktører åben og lige adgang til at udnytte ladein- frastrukturen for elbiler.</p>
<p><b>Slutbrugerafregning</b></p> <p>Måle- og afregningsstrukturen under- støtter ikke et kommende marked for elbiler som en aktiv ressource for el- systemet.</p> <p>Der er set i forhold til barriererne et utilstrækkeligt økonomisk incitament for forbrugerne til at oplade elbilen på den energi- og samfundsøkonomiske mest hensigtsræssige måde.</p>	<p>Øget adgang for forbrugerne til timeafreg- net elforbrug – alternativt mulighed for af- brydeligt elforbrug hos forbrugerne.</p> <p>Intelligente elmålere, der giver mulighed for onlinemåling, så elbilen potentielt kan indgå på regulerkraftmarkedet med videre.</p> <p>Let adgang til opladning hos elleverandør via opladeinfrastrukturen.</p>

Barrierer og udfordringer	Løsningsmuligheder
<p><b>Elmarkedstrukturen</b></p> <p>Elbilen kan potentielt levere en række systemtjenester for elsystemet, herunder regulerkraft, men potentielt også en række andre systembærende egenskaber. En række af disse ydelser købes i dag primært ved de centrale kraftværker. Det kan være nødvendigt at tilpasse visse dele af elmarkedet, så elbilerne kan indgå i konkurrence med andre aktører om levering af disse ydelser.</p>	<p>Elsystemet og elmarkedet udvikles, så det understøtter en realisering af de potentielle energi- og samfundsøkonomiske fordele, der ligger i at sammentænke elsystemet med transportsektoren.</p> <p>Det skal sikres, at de muligheder, som elbilen har for at levere en række systemtjenester, der kan bidrage til at integrere vindkraft, udvikles i samspil med energisystemet.</p> <p>Energinet.dk vil i projektet "Elsystem 2025" arbejde med at udvikle fremtidens koncept for elsystemet, der indtænker elbilens potentielle ressourcer.</p> <p>Den viden, der opbygges i F&amp;U-elbilsprojektet "Edison", vil løbende søges aktivt anvendt i udvikling af fremtidens elsystem.</p>
<p><b>Tariffer</b></p> <p>Hvis ikke elbilerne lader hensigtsmæssigt, kan der visse steder være behov for at forstærke distributionsnettet og de lavere spændingsniveauer på transmissionsnettet.</p> <p>Med de nuværende tarif- og afgiftstrukturer vil den privatøkonomiske besparelse ved at lade en elbil oplade intelligent være omkring 500 kr./år, hvis forbrugeren har installeret timeafregnet måling af elforbruget. Denne omkostning svarer til de direkte sparede omkostninger til indkøb på spotmarkedet for el.</p> <p>Det er derfor vigtigt, at barrierer for fleksibelt elforbrug minimeres.</p> <p>På længere sigt kan der være behov for at justere tarifstrukturen for distribution, så den fortsat sikrer en omkostningsægte betaling i forhold til forbrugsprofilen.</p>	<p>Analyse af de konkrete behov for udbygning af distributionssystemet er nødvendigt for at øge kendskabet til behovet for netforstærkning på lang sigt.</p> <p>Tarifstrukturen i distribution analyseres løbende, så det sikres, at den er omkostningsægte.</p> <p>Energinet.dk følger i F&amp;U-projekter arbejdet med udvikling af SmartGrids, hvor elsystemet kan reagere intelligent og optimere udnyttelsen af elnettet i et markedsbaseret setup.</p>

Barrierer og udfordringer	Løsningsmuligheder
<p><b>Afgifter</b> Der er for øjeblikket en tidsbegrænset afgiftsfritagelse for elbiler, som alt andet lige kan gøre elbilen til et privatøkonomisk interessant alternativ.</p>	<p>Regeringen vil i næste folketingssamling fremlægge forslag til en grundlæggende grøn omlægning af bilbeskatningen. Indeværende analyse viser, at der er en række samfundsøkonomiske gevinster i relation til elbiler, der kan inddrages i denne sammenhæng.</p>

### **Energinet.dk bidrager til udvikling af relevante løsninger ved, at:**

- Energinet.dk deltager i arbejdsgrupper, der er nedsat af Energistyrelsen, og som medio 2009 skal komme med forslag til udvikling af fremtidens intelligente elmålere, der kan understøtte et fleksibelt elforbrug.
- Energinet.dk har taget initiativ til en række projekter, der søger at bidrage til udvikling af et elsystem og -marked, og som understøtter realisering af de potentielle energi- og samfundsøkonomiske fordele, der ligger i at sammentænke elsystemet med transportsektoren i form af:
  - "Fremtidens elsystem 2025". Projektet undersøger blandt andet, hvordan elbilen kan aktiveres som en aktiv ressource for elsystemet.
  - Fremtidens standarder for elforsyning af elbiler, blandt andet i standardiseringsprojektet EVCOM, som vedrører standardisering af kommunikation mellem elsystem og elbil
  - F&U-projektet "Edison".

### **Energinet.dk opfordrer til:**

- Energinet.dk har identificeret en række samfundsøkonomiske gevinster i relation til elbiler, som kan inddrages i forbindelse med regeringens kommende forslag til fremtidens bilbeskatning.
- Danmark i offentligt/privat partnerskab deltager i førerfeltet på standardisering af tilslutningen mellem elbil og elsystem, så elbilens ressource kan nyttiggøres i et markedsbaseret elsystem med høj andel af vindkraft. Danmark kan med dette blive udstillingsvindue og testområde for udvikling af fremtidens elsystem med effektiv integration af transportsektoren.

Det er vigtigt, at der hurtigst muligt findes løsninger på især barriererne i forhold til infrastruktur og lige og åben adgang, da flere leverandører af elbiler og kommunikationsudstyr peger på Danmark som testmarked.

## 5. Samspillet – et energisystem 2025 med vindkraft, varmepumper og elbiler

Kortlægningen af potentialerne for henholdsvis el til varme og el til transport i kapitlerne 3 og 4 har været med udgangspunkt i en situation, hvor varmepumper og elbiler indføres særskilt. I dette kapitel analyseres betydningen af samspillet mellem varmepumper, elbiler og elsystemet i 2025. Varmepumper og elbilers betydning for CO<sub>2</sub>-reduktioner og integration af vedvarende energi i forhold til EU's 2020-målsætninger beskrives afslutningsvis i kapitlet.

Analyserne viser, at varmepumper og elbiler har et stort potentiale i forhold til at skabe et nyt, stort fleksibelt elforbrug, der betyder, at en større del af den danske vindkraftproduktion kan udnyttes indenlands. Dermed reduceres CO<sub>2</sub>-udledningerne markant, og der skabes et samfundsøkonomisk overskud.

Desuden er det afgørende, at der udvikles løsninger med et intelligent samspil mellem elbilerne, varmepumperne og elsystemet, så det nye, store elforbrug placeres i de timer af døgnet, hvor vindkraftproduktionen er stor, og hvor elprisen er lav.

Bliver der ikke indbygget denne intelligens i kommunikationen mellem elsystemet og det nye fleksible elforbrug, vil de samfundsøkonomiske gevinster ved at implementere elbiler og varmepumper blive reduceret med ca. 1,7 mia. kr./år.<sup>20</sup> En manglende intelligent kobling til elnettet kan medføre et behov for mere kapacitet, hvilket svarer til to centrale kraftværksblokke eller to nye elforbindelser til udlandet til import af el.

Varmepumper og elbiler er ikke kun samfundsøkonomisk fordelagtige frem mod 2025. De samfundsøkonomiske fordele ved implementeringen af varmepumper og elbiler er robuste og dermed også gældende på længere sigt, hvor der forventes en yderligere udbygning af vindkraften.

### 5.1 Varmepumper og elbiler i energisystem 2025

For at analysere varmepumper og elbilers betydning, når begge teknologier implementeres, er der taget udgangspunkt i et udbygningseksempel i 2025, der kombinerer udbygningseksemplerne i kapitlerne 3 og 4. Det betyder, at udbygningseksemplet med både varmepumper og elbiler i 2025 indeholder varmepumper svarende til 15 procent af varmebehovet inden for fjernvarmeområdet, varmepumper svarende til 50 procent af varmekonsumet uden for fjernvarmeområdet samt elbiler svarende til 15 procent af vejtransporten, heraf 25 procent af transportarbejdet for personbiler og 15 procent af transportarbejdet for varevogne og busser. Der er antaget en vindkraftkapacitet på ca. 6.700 MW.

<sup>20</sup> Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

## 5.2 Resultat af analysen

En implementering af varmepumper og elbiler betyder et nyt, stort fleksibelt elforbrug – i alt stiger elforbruget med ca. 7 TWh/år. Til sammenligning er elforbruget i Danmark i dag ca. 37 TWh/år. Dette nye fleksible elforbrug betyder, at en større del af den danske vindkraftproduktion udnyttes indenlands. I nedenstående tabel udtrykkes det ved et fald i nettoelekspotporten på ca. 6 TWh/år samtidig med, at den indenlandske elproduktion kun stiger med ca. 1 TWh/år.

Desuden betyder varmepumperne og elbilerne, at energisektorens samlede CO<sub>2</sub>-udledning reduceres med ca. 5 mio. ton/år, eller ca. 10 procent i forhold til Danmarks samlede CO<sub>2</sub>-udledning i dag. Reduktionerne sker som følge af energieffektivitet og VE-baserede løsninger, der erstatter mindre effektive teknologier, der er baseret på fossile brændsler. Størstedelen af CO<sub>2</sub>-reduktionerne sker i de ikke-kvoteomfattede sektorer, hvor reduktionen er ca. 4,5 mio. ton/år.

Varmepumper og elbiler i et intelligent samspil med elsystemet og elmarkedet medfører samtidig en reduktion af Danmarks samlede omkostninger til energiforsyning på ca. 2,5 mia. kr./år. Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

De største besparelser opnås i transportsektoren (elbiler) og i varmesektoren uden for fjernvarmeområderne (individuelle varmepumper). Desuden reduceres det samlede energiforbrug med ca. 85 PJ/år – hvilket svarer til en reduktion af det samlede energiforbrug på ca. 9 procent i forhold til i dag.

Netto eleksport	Elforbrug	Elproduktion, ekskl. vind	Reducerede CO <sub>2</sub> -emissioner	Reducerede omkostninger til energiforsyning	Reduktion i samlet energiforbrug
TWh/år	TWh/år	TWh/år	Mio. ton/år	Mia. kr./år	PJ/år
-6	+7	+1	5	2,5	85

Figur 20 Nøgletal for betydning ved implementering af varmepumper og elbiler i 2025 i forhold til referencen uden varmepumper og elbiler.

### 5.2.1 Udbygning af vindkraft i nabo-områder

Det er ikke kun Danmark, der har ambitioner om en markant udbygning af vindkraften. Både Norge, Sverige og Tyskland har tilsvarende planer, og især Tyskland har ambitioner om at øge vindkraftkapaciteten markant.<sup>21</sup>

En udbygning af vindkraften i nabo-områderne samt en øget udvekslingskapacitet mod disse områder betyder, at værdien ved et stort fleksibelt elforbrug gennem varmepumper og elbiler bliver endnu større. Figur 21 viser nøgleresultaterne for henholdsvis en situation med øget vindkraftkapacitet i Norden og Tyskland samt øget udvekslingskapacitet mod disse områder og en tilsvarende situation, hvor der er implementeret varmepumper og elbiler i Danmark.

<b>Netto elekspport</b>	<b>Elforbrug</b>	<b>Elproduktion, ekskl. vind</b>	<b>Reducerede CO<sub>2</sub>- emissioner</b>	<b>Reducerede omkostninger</b>
<b>TWh/år</b>	<b>TWh/år</b>	<b>TWh/år</b>	<b>Mio. ton/år</b>	<b>Mia. kr./år</b>
-8	+7	-1	6	4

Figur 21 Nøgletal for betydning ved implementering af varmepumper og elbiler i 2025 i en situation med øget vindkraftkapacitet i nabo-områderne samt øget udvekslingskapacitet mod nabo-områderne.

I Tyskland vil den øgede mængde vindkraft betyde flere og større pris-svingninger. I disse tilfælde vil det være en fordel med et stort fleksibelt elforbrug i Danmark, da der dermed skabes gode betingelser for at udnytte de markedsbaserede fordele ved at have et stort fleksibelt elforbrug, der kan aftage el i de situationer, hvor Tyskland har overskydende elproduktion, og elpriserne dermed er lave.

I Norden vil vindkraftudbygningen ikke have samme påvirkning på elprisen, da vandkraften kan lagre og udjævne vindkraftens indvirkning på elsystemet og elmarkedet – uden at komme i begrænsning i forhold til udlandsforbindelser.

Hvis der implementeres varmepumper og elbiler i Danmark sideløbende med en vindkraftudbygning i nabo-områderne, reduceres de samlede omkostninger i energisektoren med 4 mia. kr./år<sup>22</sup> i forhold til situationen, hvor der udbygges med vindkraft i nabo-områderne, og der ikke

<sup>21</sup> Frem mod 2030 forventer Tyskland at udbygge vindmøllekapaciteten med, hvad der svarer til over 20.000 MW havvindmøller eller 1.000 nye havvindmølleparker på størrelse med Horns Rev 2 eller Rødsand 2 (Tysklands Miljøministerium, 2009 "Neues Denken – Neue Energie").

<sup>22</sup> Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

implementeres varmepumper og elbiler. Det skyldes, at varmepumperne og elbilerne skaber en større efterspørgsel på el, og at deres fleksibilitet giver mulighed for at importere denne el, når elpriserne er lave. Dermed erstatter billig el dyrere fossile brændsler.

Samtidig betyder den øgede import fra Tyskland, at den danske elproduktion falder, og at Danmark går fra at være nettoeksportør af el til at være nettoimportør af el.

### 5.3 Øvrige resultater

Ud over ovenstående resultater påvirker implementeringen af varmepumper og elbiler en række øvrige nøgleparametre. I det følgende præsenteres resultaterne af Energinet.dk's analyse af referencen med både varmepumper og elbiler i 2025, med udgangspunkt i følgende parametre:

- Behov for produktionskapacitet
- Kritisk eloverløb
- Forsyningssikkerhed
- Behov for udbygning af elnettet
- Regulerkraft til elsystemet

#### 5.3.1 Behov for produktionskapacitet

En samlet implementering af varmepumper og elbiler medfører, at det maksimale elforbrug, som skal leveres til at supplere vindkraften (residualkapacitet), stiger.

Implementeres ufleksible, individuelle varmepumper samtidig med, at elbilerne lader simpelt i eftermiddags- og aftentimerne, vil behovet for ekstra kapacitet stige med mere end 2.000 MW.

Hvis varmepumperne og elbilerne anvendes intelligent i forhold til elsystemet og reagerer på markedssignalerne, så driften af varmepumperne bliver fleksibel, og driften af elbilerne optimeres, vil behovet for kapacitet for hele det danske elsystem øges med mindre end 300 MW. Der er her indregnet muligheden for, at elbilerne kan levere effekt til nettet. Generelt vil den øgede spidslastproduktion i det opstillede reference med varmepumper og elbiler ikke medføre yderligere termisk produktion i Danmark, da eleksporten samtidig falder.

#### 5.3.2 Kritisk eloverløb

I referencen for 2025 uden varmepumper og elbiler er der et kritisk eloverløb<sup>23</sup> på ca. 90 GWh/år. Varmepumper og elbiler kan ved en optimeret drift hver især mindske det kritiske eloverløb (som beskrevet i kapitlerne 3 og 4). En kombination af varmepumper og elbiler i en optimeret drift eliminerer helt det kritiske eloverløb og skaber så megen effektiv elanvendelse, at der vil være plads til yderligere vindkraft, uden at der opstår

<sup>23</sup> Ved kritisk eloverløb forstås den overskydende elproduktion, der ikke er afsætning for i et område og som heller ikke kan eksporteres ud af området.



kritisk eloverløb. Dette fremgår af Appendiks II, hvor resultaterne fra en række følsomhedsberegninger præsenteres.

### 5.3.3 Forsyningssikkerhed

En samlet udbygning med varmepumper og elbiler vil ved en u hensigtsmæssig drift, hvor varmepumperne og elbilerne ikke reagerer på markedets prissignaler, give en kritisk forsyningssikkerhed, hvis ikke produktionskapaciteten udbygges ganske væsentligt, jf. afsnit 5.3.1.

Ved en optimeret drift af varmepumperne og elbilerne, hvor de reagerer på markedssignalerne, kan der fortsat være behov for forstærkninger af infrastruktur og elproduktionskapacitet, dog i mindre omfang end i den ikke-optimerede drift.

### 5.3.4 Behov for udbygning af elnettet

Behovet for udbygning af elnettet på distributionsniveau reduceres markant ved at indtænke elbilerne som ressource for elsystemet.

Den infrastrukturudbygning, der er besluttet i forbindelse med Elinfrastrukturredegørelsen<sup>24</sup>, vurderes generelt at dække behovet for elinfrastruktur på transmissionsniveau ved en udbygning med elbiler og varmepumper.

I forbindelse med udarbejdelse af Kabelhandlingsplanen<sup>25</sup> for 132/150 kV-nettet tages der højde for fremtidig udbygning med elbiler og varmepumper.

Energinet.dk har ansvaret for den samlede forsyningssikkerhed i elsystemet og vil løbende gennem analyser sørge for, at den samlede forsyningssikkerhed fastholdes i takt med udbygning med elbiler og varmepumper med videre. I denne forbindelse anvendes viden fra F&U-projekterne "Edison"<sup>26</sup> og "El til transport"<sup>27</sup> til at foretage en nærmere analyse af, hvilke forstærkninger der på længere sigt kan være behov for. Desuden vil Energinet.dk's interne projekt "Elsystem 2025" fokusere på de konkrete udfordringer for elsystemet og elmarkedet i forbindelse med implementering af varmepumper og elbiler.

<sup>24</sup> "Teknisk redegørelse om fremtidig udbygning og kabellægning i eltransmissionsnettet" (2008).

<sup>25</sup> Energinet.dk udarbejder pt. i samarbejde med transmissionselselskaberne en handlingsplan for kabellægningen af 132/150 kV nettet.

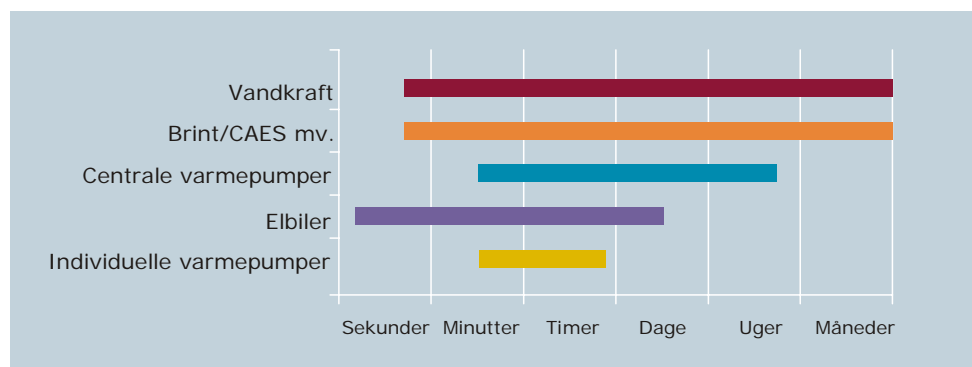
<sup>26</sup> Energinet.dk støtter via PSO-midlerne til F&U-projektet "Edison", der i perioden 2009-2011 vil udvikle, demonstrere og analysere mulighederne for et effektivt samspil mellem elsystemet og elbiler. Projektet har et samlet budget på 48 mio. kr., og heraf udgør støtten fra Energinet.dk's PSO-midler 33 mio. kr.

<sup>27</sup> Projektet "El til transport" opstiller et scenarie for udbygning med elbiler frem til 2030. Elforbrug til elbiler i samspil med det samlede elsystem analyseres i projektet, herunder hvilke muligheder der er for at indpasse vindkraft og anden VE-elproduktion. I projektet analyseres endvidere konsekvenser for elsystemets produktions- og transmissionskapacitet.

### 5.3.5 Regulerkraft til elsystemet

Elbiler, varmepumper i fjernvarmenettet samt i et vist omfang individuelle varmepumper er relativt fleksible forbrug, og de kan således alle bidrage til at levere regulerkraft til balancering af elsystemet.

Disse nye typer elforbrug har forskellige grader af fleksibilitet. Elbiler kan levere balancering i intervallet fra sekund til dage. Individuelle varmepumper kan levere balancering inden for få minutter op til nogle timer. Endelig kan centrale varmepumper levere balancering inden for nogle minutter og op til flere dage, idet de typisk er kombineret med andet varmeproduktionsudstyr og akkumuleringstanke. Samlet set giver disse nye komponenter i elsystemet – i samspil med en række øvrige virkemidler, der fremadrettet kan få en vigtig rolle for elsystemet – en bred vifte af potentielle leverandører til regulerkraftmarkedet, jf. Figur 22.



Figur 22 Fleksibilitet i virkemidlernes elforbrug.

De vurderede virkemidler kan ikke give fleksibilitet i intervallet uger-måneder. Her vil det fortsat være et samspil med vandkraftsystemerne i Norden og på sigt perspektiver med energilagring i brint, CAES (trykluftlagring), store batterier med videre, der kan skabe den nødvendige balancering. Disse perspektiver er ikke behandlet yderligere i denne rapport.

## 5.4 Varmepumper og elbilers betydning for 2020-målsætningerne

Nye fleksible elforbrug, der kommunikerer intelligent med elsystemet, kan få en nøglerolle i forbindelse med krav, som Danmark skal opfylde i forbindelse med EU's mål for anvendelsen af vedvarende energi og udledningen af CO<sub>2</sub> i 2020. Målene for Danmark er en 20 procent CO<sub>2</sub>-reduktion i de ikke-kvoteforbundne sektorer svarende til ca. 7,5 mio. ton, samt en øget andel af vedvarende energi af det samlede energiforbrug, så vedvarende energi udgør mindst 30 procent af det endelige energiforbrug (i 2005 var andelen 17 procent). Samtidig skal andelen af vedvarende energi af transportsektorens energiforbrug være mindst 10 procent i 2020 – i 2007 var den ca. 0 procent.<sup>28</sup>

<sup>28</sup> I 2007 var forbruget af bioethanol i Danmark 0,25 PJ.

Endvidere kan nye fleksible elforbrug medvirke til energieffektiviseringer, der – selvom EU's målsætninger i 2020 endnu ikke er bindende på dette område – bliver et centralt indsatsområde fremover.

Figur 23 illustrerer varmepumper og elbilers potentiale i forhold til opfyldelse af EU's 2020-målsætninger.

	<b>VE-andel af samlet energiforbrug</b>	<b>CO<sub>2</sub>-udledning i ikke-kvotebelagte sektorer Mio. ton/år</b>	<b>VE-andel af transport</b>	<b>Energieffektivitet</b>
Mål for Danmark, jf. EU's 2020 målsætninger	+13 procentpoint	-7,5	+10 procent	-20 procent
Virkemidler 2020	+5 procentpoint	-3	+4 procent	-7 procent

Figur 23 Nøgletal i forbindelse med EU's 2020 målsætninger.<sup>29</sup>

Figur 23 viser, at varmepumper og elbiler kan blive en vigtig faktor i forbindelse med 2020-målsætningerne. VE-andelen af det samlede energiforbrug skal øges med 13 procentpoint i 2020 (sammenlignet med 2005), og varmepumper og elbiler bidrager i dette eksempel med 5 procentpoint. I transportsektoren bidrager elbilerne i 2020 eksemplet med 4 procent vedvarende energi, og det vil være et godt supplement til biobrændsler, der med et fast mål på 5,75 procent i 2010 må forventes at have et tilsvarende eller større bidrag i 2020.

Elbilernes bidrag er udregnet efter klimapakkenes retningslinjer, hvor den gennemsnitlige andel af vedvarende energi i elproduktionen er ganget med en faktor 2,5. Det er endnu ikke afklaret, om det via en certifikatordning bliver muligt at regne en VE-andel på 100 procent. Dette forventes afklaret senest i 2011. Hvis det bliver muligt at medregne en højere VE-andel for den el, der anvendes i elbilerne via en certifikatordning, øges elbilernes bidrag til opfyldelsen af VE-målsætningerne i transportsektoren til 8 procent. Hvis certifikatordningen realiseres, vil værdien af elbilernes samspil med vindkraften dermed i højere grad blive medregnet, når bidraget fra elbilerne til transportsektorens samlede andel af vedvarende energi skal opgøres.

<sup>29</sup> Der er i 2020 antaget en samlet vindkraftproduktion på 8,8 TWh, hvor centrale varmepumper dækker ca. 10 pct. af fjernvarmeproduktionen, individuelle varmepumper dækker 33 pct. af varmebehovet uden for fjernvarmeområdet, og elbiler dækker 10 pct. af vejtransportens samlede energiforbrug – fordelt på både person- og varebiler og busser.

I den ikke-kvotebelagte sektor skal Danmark reducere CO<sub>2</sub>-udledningerne med ca. 7,5 mio. ton i 2020. Her kan de individuelle varmepumper og elbiler i eksemplet bidrage med 3 mio. ton.

Samtidig understøtter varmepumper og elbiler EU's målsætninger omkring energieffektivitet. Målet er at forbedre energieffektiviteten med 20 procent i 2020. Selvom det endnu ikke er et bindende mål, er det et godt pejlemærke, da det i høj grad understøtter de øvrige 2020-målsætninger. Varmepumper og elbiler forbedrer i dette eksempel den samlede energieffektivitet med 7 procent i 2020.

## Appendiks I – Metode og forudsætninger

Dette appendiks beskriver metoden og de forudsætninger, der er lagt til grund i analysen af udbygning med elbiler og varmepumper.

I afsnit 1 er hovedlinjerne i metoden listet. I afsnit 2 uddybes metodens elementer og de dataforudsætninger, der er anvendt i analysen.

### Hovedlinjer i metode

#### 1) **Generelle beregningsforudsætninger**

Analysen er baseret på retningslinjerne i Energistyrelsens vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet. /2/.

#### 2) **Opstilling af reference for energisystemet 2025**

Der er opstillet en reference for energisystemet i 2025. I referencen er der antaget en markant udbygning med vedvarende energi i elproduktionen, primært som vindkraft.

#### 3) **Opstilling af udbygningseksempler med varmepumper og elbiler.**

Der er antaget en markant udbygning med elbiler, så de udgør 15 pct. af det samlede vejtransportarbejde, individuelle varmepumper udgør 50 pct. af varmeforsyningen uden for fjervarmeområder, og centrale varmepumper udgør 15 pct. af varmeforsyningen i fjernvarmeområder.

#### 4) **Opstilling af driftskoncept for varmepumper og elbiler**

Der er opstillet 3 alternative driftskoncepter for elbilerne og 3 alternative driftskoncepter for de individuelle varmepumper. For de centrale varmepumper optimeres driften under hensyn til værkets alternative forsyningsmuligheder med kedel og kraftvarme

#### 5) **Analyse af el- og fjernvarmesystemet**

El- og fjernvarmesystemets samfundsøkonomiske driftsomkostninger er analyseret i referencen uden varmepumper og elbiler, og i udbygningseksemplerne med de forskellige driftsmønstre. Analysen er foretaget med Energinet.dk's modelværktøj SIVAEL.

#### 6) **Samlet konsekvensberegning for energisystemet**

Ud fra samfundsøkonomiske omkostninger for brændsel, CO<sub>2</sub>, investeringer og drift- og vedligehold i det samlede energisystem, inklusive varmepumper og elbiler, er samfundsøkonomi beregnet i de forskellige udbygningseksempler. Endvidere er forhold vedrørende elsystemets drift, effektbalance, emission med videre analyseret, og en samlet konsekvens for indpasning af vedvarende energi i energiforsyningen er beregnet.

#### 7) **Identificering af barrierer og opstilling af løsningsforslag**

På baggrund af konsekvensberegningerne identificeres en række barrierer for, at en samfundsøkonomisk og elsystemmæssig hensigtsmæssig udvikling og drift af energisystemet finder sted. Der opstilles en række forslag til at imødekomme disse identificerede barrierer.

## Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger

Analysen tager udgangspunkt i Energistyrelsens vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet, revision af juli 2007 og Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger af februar 2009 /2/.

Brændselspriser er med dette svarende til IEA World Energy Outlook november 2008.

Der anvendes en CO<sub>2</sub>-kvotepris på 230 kr./ton i 2007-priser. Der er anvendt en diskonteringsrente på 5 pct. og en nettoafgiftsfaktor på 1,17.

## Opstilling af reference uden varmepumper og elbiler for energisystemet i 2025

### *Generelt*

Vurderingen af varmepumper og elbiler er baseret på en referenceudvikling uden varmepumper og elbiler i energisystemet frem til 2025.

Fremskrivningen tager udgangspunkt i Energistyrelsens aftalefremskrivning fra juni 2008, jf. kilde /6/ og /7/ og Risø's fremskrivning af transportbehovet frem til 2030 opdelt på køretøjskategorier.

### *Varmeforbruget*

Varmeforbruget, brutto i fjernvarmeområderne, der er 135 PJ nu, antages at være 115 PJ i 2025, hvilket svarer til Energistyrelsens aftalefremskrivning.

Uden for fjernvarmeområderne antages et bruttoenergiforbrug på 82 PJ til opvarmning i 2025.

### *Elforbruget*

For elforbruget anvendes Energistyrelsens fremskrivning fra juni 2008 /7/, hvor elforbruget er 21,92 TWh i Vestdanmark og 14,71 TWh i Østdanmark, der svarer til 36,6 TWh for hele Danmark.

### *Elproduktionsapparatet*

Elproduktionsapparatet tager udgangspunkt i Energistyrelsens aftalefremskrivning /6/. Se Figur A1.

	Aftalefremskrivning
Centrale	Amagerværket blok 1 på 70 MW idriftsættes i 2009
Centrale	Avedøreværket blok 2 ombygges til kulfyring i 2010
Centrale	Asnæsværket blok 5 (R) 2015
Centrale	Amagerværket blok 3 (R) 2023
Centrale	Fynsværket blok8 på 36 MW idriftsættes i 2009
Centrale	Enstedværket blok 3 (R) 2015
Centrale	Studstrupværket blok 4 (R) 2019
Centrale	Esbjergværket blok 3 (R) 2022

Figur A1 Centrale kraftværker i 2025. (R) betyder renovering.

Asnæsværkets blok 2 og blok 4, Kyndbyværkets blok 21 og blok 22 og Stignæsværkets blok 1 og 2 er skrottet. Den installerede kraftværkskapacitet på Sjælland er i alt 2.890 MW i 2025.

Herningværket og Randersværket er erstattet af nye, større blokke, mens Nordjyllandsværket blok 2, Studstrupværket blok 3 og Fynsværket blok 3 er skrottet. Den installerede kraftværkskapacitet i Jylland/Fyn er i alt 5.136 MW i 2025.

Det er valgt kun at lade Avedøreværket blok 2 overgå til kulfyring, men ikke Skærbækværket blok 3. Bortset derfra anvendes Energistyrelsens kraftværkspark.

Der er forudsat en udbygning med landmøller på 1.000 MW i perioden 2015-2025. Landmøllerne tænkes fordelt mellem Øst- og Vestdanmark på samme måde som de eksisterende landmøller, det vil sige tilvæksten bliver 800 MW i Vestdanmark og 200 MW i Østdanmark.

I Figur A2 er vist den forudsatte havmølleudbygning på i alt 2.400 MW.

Havmølleudbygning				
Placering	År	Effekt MW	Fuldlasttimer	Nettilslutningspunkt
Horns Rev 2	2009	200	4.300	Endrup
Rødsand 2	2010	200	3.600	Radsted
Anholt	2012	400	4.000	Trige
Kriegers Flak	Før 2025	600	4.000	Bjæverskov
Horns Rev	Før 2025	400	4.300	Endrup
Læsø Syd	Før 2025	600	4.000	Vester Hassing eller Ferslev

Figur A2 Havmølleudbygningen.

Energinet.dk anvender således egne, højere fremskrivninger for vindmølleudbygningen, idet hele formålet med virkemiddelanalysen er at se, hvordan varmepumperne og elbilerne fungerer i et elsystem med en stor andel vindkraft.

#### *Udvekslingsforbindelser*

I referenceberegningen uden varmepumper og elbiler medtages kun de udvekslingsforbindelser, der er under bygning, eller for hvilke der foreligger en beslutning i form af en business case, der er godkendt af Energinet.dk's bestyrelse. Se Figur A3.



Forbindelse	Udvekslingskapacitet [MW]	Status
Jylland-Norge (SK 1+2+3)	±1000	Eksisterende
Jylland-Sverige1+2	±700	Eksisterende
Jylland-Tyskland	950/-1.500	Eksisterende
Sjælland-Tyskland	±600	Eksisterende
Sjælland-Sverige	1.300/-1.700	Eksisterende
Storebælt 1	±600	Projekt igangsat (2010)
Jylland-Tyskland	1.500/-2.000	Projekt igangsat (2012)
Jylland-Norge (SK 4)	±600	Planlagt (2014)

Figur A3 Kapaciteter for eksisterende og besluttede udvekslingsforbindelser.

### Beregnete elpriser

Ud fra Energinet.dk's simuleringsmodel SIVAEL er der beregnet følgende elpriser:

Virkemiddelkoncept	Systempris kr./MWh	Systempris, inkl. tab kr./MWh	Samlet omkostning inkl. kap. omk. kr./MWh
Varmepumpe driftskoncept 1	503	538	768
Varmepumpe driftskoncepterne 2 og 3	434	464	544
Elbil – ladekoncept 1	549	588	798
Elbil – ladekoncept 2	444	475	605
Elbil – ladekoncept 3	423	453	503

Figur A4 Elpriser beregnet ud fra SIVAEL.

## Udbygning med varmepumper og elbiler

### Elbiler

Der er antaget, at 15 procent af det samlede vejtransportbehov forsynes med el. Effektivitet og samfundsøkonomiske omkostninger er baseret på rapporten "Alternative drivmidler i transportsektoren", der er udarbejdet af COWI for Energistyrelsen februar 2008 /4/. Endvidere er en række

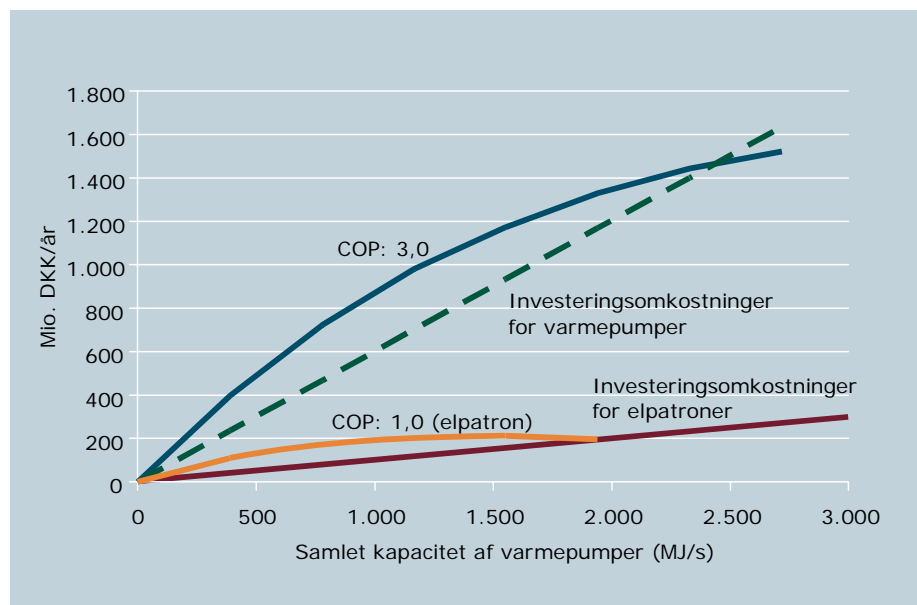
omkostninger vedrørende ladestation, støj og lokalemission baseret på beregningsgrundlag fra Energistyrelsen.

Omkostninger til elbil, inklusive drift af batteri med videre, er antaget til 700 kr./GJ mekanisk energi. Dette er beregnet som en lineær interpolation af prisen i 2006 og 2025 til 2020. Reduktion i omkostninger til støj for elbil i forhold til reference på benzin/diesel er fastsat til 0,08 kr./km. Reduktion i omkostninger til emission er fastsat til 0,02 kr./km.

Der er antaget en effektivitet for referencebiler som et gennemsnit af benzin og dieslbiler i 2025 på 24,5 pct. mekanisk virkningsgrad. For elbiler er der antaget en virkningsgrad på 0,81 fra elforsyning til mekanisk energi ved hjul.

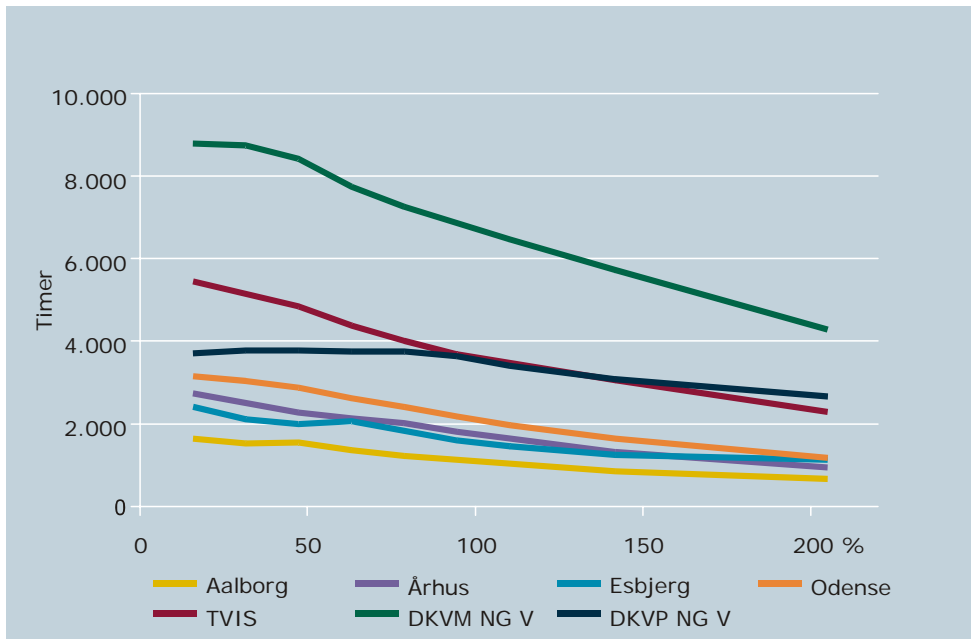
### Store varmepumper

For store varmepumper er antaget en COP-faktor på 3,0 og en anlægspris på 5 mio. kr. pr. MW varme. For store centrale elpatroner er der antaget en anlægspris på 2 mio. kr. pr. MW varme. Begge investeringer er inklusive eltilslutningsafgift på 1 mio. kr. pr. MW el. I figur A5 er vist samfundsøkonomien ved forskellige installerede varmeeffekter.

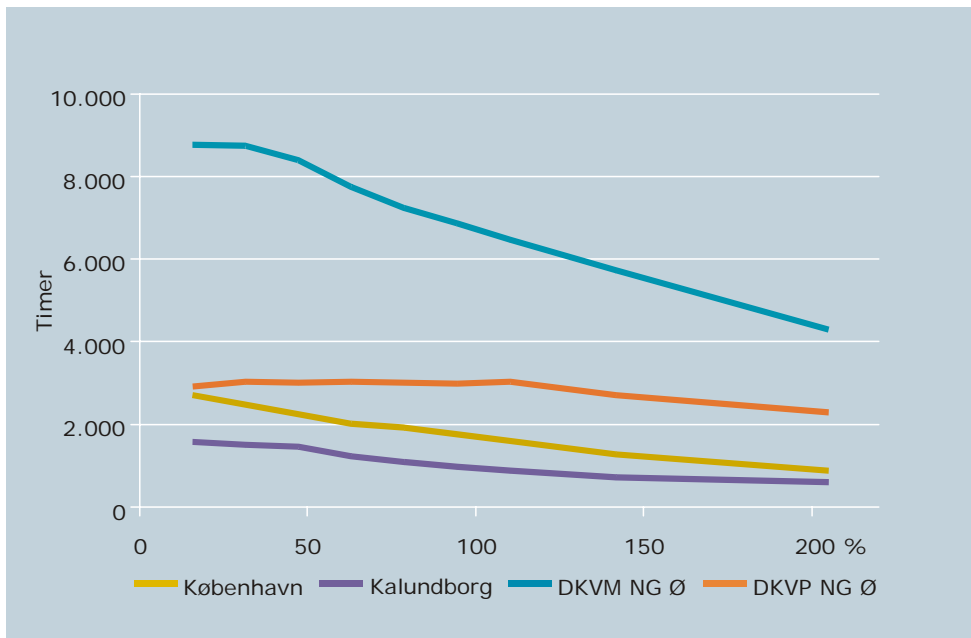


Figur A5 Indtægter og annuierede investeringsomkostninger som funktion af installeret varmeeffekt. Som det ses, er samfundsøkonomien ved varmepumper bedre end for elpatroner. Elpatroner udviser kun et samfundsøkonomisk overskud ved meget lave varmeeffekter, da benyttelsestiden her er tilstrækkelig stor.

For de enkelte udbygninger fremgår driftstider som funktion af udbygget kapacitet af nedenstående to figurer.



Figur A7 Driftstider for varmepumper som funktion af installeret kapacitet. Vestjylland. DKVM NG V er naturgasfyret decentral kraftvarme i Vestjylland, på markedsvilkår. DKVP NG V er naturgasfyret decentral kraftvarme i Vestjylland, ikke på markedsvilkår.



Figur A8 Driftstider for varmepumper som funktion af installeret kapacitet. Østjylland.

I analysen er der regnet med en installeret varmeeffekt på ca. 2.000 MW med den i figur A9 angivne sammensætning og benyttelsestid.

	Installeret effekt MW	Driftstid timer	Benyttelsestid timer	Varmeprod. TJ	Elforbrug MWh	D&V 1.000 kr.
Aalborg	148	1.489	902	481	44.512	1.202
Aarhus	212	2.738	1.566	1.195	110.676	2.988
København	663	2.810	1.529	3.649	337.884	3.613
NG-fyrede DC KV på markedsvilkår, Vestdanmark	138	8.760	7.259	3.607	333.933	9.016
NG-fyrede DC KV på markedsvilkår, Østdanmark	37	8.759	7.242	965	89.320	955
NG-fyrede DC KV ikke på markedsvilkår, Vestdanmark	178	3.887	3.770	2.416	223.684	6.039
NG-fyrede DC KV ikke på markedsvilkår, Østdanmark	25	3.020	3.029	273	25.241	270
Esbjerg	106	2.949	1.499	572	52.971	1.430
Kalundborg	49	1.515	1.066	188	17.405	186
Odense	255	2.861	1.991	1.828	169.250	4.570
TVIS	127	5.802	3.742	1.711	158.425	4.277
<b>I alt</b>	<b>1.938</b>			<b>16.884</b>	<b>1.563.301</b>	<b>34.546</b>

Figur A9 Installerede varmeeffekter og benyttelsestider for varmepumper (NG = naturgas, DC = decentrale, KV = kraftvarmeverker).

#### 5.4.1 Individuelle varmepumper

For individuelle varmepumper er antaget en gennemsnitlig COP-faktor på 3,7 og en anlægspris på 11 mio. kr. pr. MW varme. Jf. endvidere nedenstående Figur A10 med hensyn til årvirkningsgrader og anlægspriser for alternative individuelle varmeforsyningsløsninger.

Teknologi	Investering tkr./MW	Drift- og vedligehold kr./år for std. installation	Års-virkningsgrad
Varmepumpe luft-luft, inkl. elpatron til vand/spidslast	5,3	750	2,00
Varmepumpe luft-vand	8,0	750	3,20
Varmepumpe jordvarme-vand	13,1	750	4,00
Træpillefyr individuel	4,0	1500	0,85
Naturgas	2,4	1500	1,05
Oliefyr	2,4	1500	0,90
Elvarme	1,5	250	1,00
Standard eksempel små varmepumper	11	750	3,70
Store varmepumper (fjernvarmenet)	5,0	1,5 mio. kr. pr. MJ/s	3,00

Figur A10 Årsvirkningsgrader, anlægspriser og drift- og vedligeholdelseskostninger for alternative individuelle varmeforsyningsløsninger.

**Kildehenvisninger til Appendiks 1**

Kilde nr.	Betegnelse	Udgivet af
1	Finansministeriets generelle vejledning i samfundsøkonomiske analyser	Finansministeriet
2	Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet,	Energistyrelsen april 2005 med revision af juli 2007 Energistyrelsen februar 2009
3	Technology data for electricity and heat generating plants	Energistyrelsen, Eltra, Elkraft System marts 2005 + supplerende data fra Risø 2009.
4	Alternative drivmidler i transportsektoren	Energistyrelsen, januar 2008
5	Supplerende opdateringer vedr. drivmiddelrapporten /4/	COWI 2008
6	Fremskrivning af Danmarks energiforbrug og udledning af drivhusgasser frem til 2025	Energistyrelsen juli 2008
7	Dokumentation af RAMSES aftalefremskrivning juni 2008.	Energistyrelsen juni 2008
8	Energinet.dk scenarier for energisystemet i 2030	Energinet.dk
9	Varmeplan Danmark	Dansk Fjernvarme 2008, konsulent rapport udarbejdet af Aalborg Universitet og Rambøll

## Appendiks II – Samspillet mellem elsystemerne i Danmark, Norden og Tyskland

I dette appendiks gennemgås principperne for samspillet mellem elsystemerne i Danmark, Norden og Tyskland med henblik på at få et indblik i den model og metode, som Energinet.dk anvender ved systemanalyser på det danske el- og kraftvarmesystem. Modellen hedder SIVAEL – Simulering af VARme og ELsystemet. Modellen simulerer det danske el- og kraftvarmesystem time-for-time hen over året og fordeler el- og varmeproduktionen på de produktionsenheder, der er mest økonomiske under hensyntagen til udlandsforbindelserne til Norden og Tyskland, den øjeblikkelige vindproduktion samt el- og varmekonsumet. Der tages også hensyn til reservekapacitet i elsystemet og mulighed for havarier på de store centrale værker.

Baggrunden for prisdannelserne på det danske elmarked er lidt speciel, da Danmark fungerer som bindeled mellem det nordiske elsystem og tyske elsystem. Generelt er priserne for el i Tyskland lave om natten grundet mange store grundlastenheder baseret på kernekraft og kul. Om dagen er elpriserne forholdsvis høje på grund af høj effektefterspørgsel og deraf afledt produktion på dyre og gamle kraftværksenheder. Tyskland udgør dermed et effektbaseret elmarked, og elprisen følger det øjeblikkelige time-for-time effektbehov.

For Norden gælder en anden sammenhæng. På grund af de store mængder vandkraft er Norden et energibaseret elmarked. Det vil sige, at så længe det årlige elforbrug svarer til energien lagret i vandkraftmagasinerne, er elprisen forholdsvis konstant og uafhængig af det øjeblikkelige effektbehov. Typisk lægger den nordiske elpris sig op ad den pris, som er muligt at få ved eksport om dagen og import om natten.

Danmark ligger mellem disse områder og fungerer derfor som transitkorridor mellem de to forskelligartede områder. Hvor meget strøm, der kan løbe igennem Danmark, afhænger af kapaciteten på udlandsforbindelserne, kapaciteten i det danske transmissionsnet, den uflexible indenlandske elproduktion, elproduktionsprisen samt det aktuelle elforbrug.

Der er som regel overskud af eleffekt i Danmark, dels som følge af den megen vindkraft og dels som følge af den store mængde af varmekoblet kraftvarmeproduktion. I de fleste situationer betyder det, at udbuddet af elproduktion er større end den efterspurgte mængde strøm. Energibalancen i elsystemet opretholdes i disse situationer ved eksport til det nabo-område, der har den højeste elpris. Selvom der også er plads til import i en given time, så er Danmark derfor i de fleste timer nettoeksportør af el.

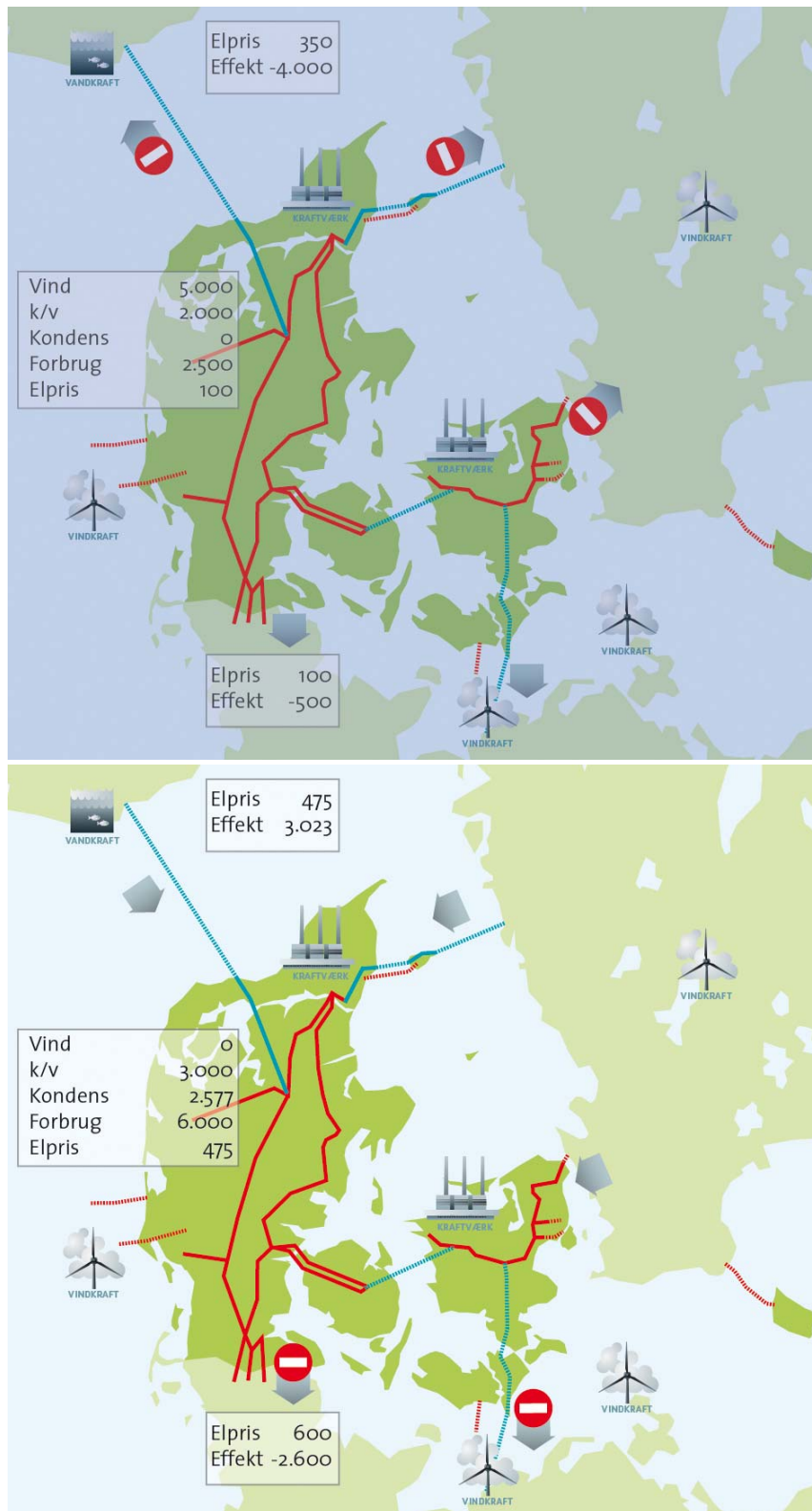
Elprisen i Danmark bliver som regel bestemt af, hvor meget effekt der løber i forbindelserne mellem Danmark og nabolandene. Så længe en udvekslingsforbindelse mellem to områder kan overføre den mængde el, der efterspørges, bliver elprisen den samme i de to områder. Hvis en udvekslingsforbindelse "løber fuld", og der ikke kan overføres den mængde

de el, som efterspørges, bliver elpriserne forskellige i de to områder. For Danmark betyder det, at vi som regel får den laveste af de to priser, der forekommer i vores nabo-områder. Der er oftest effektoverskud i Danmark, og derfor vil den udvekslingsforbindelse, der oftest "løber fuldt", være den forbindelse, hvor der eksporteres el ud af Danmark.

Som udgangspunkt for beskrivelsen af samspillet mellem elsystemerne i Danmark, Norden og Tyskland tages der udgangspunkt i en forsimpelt model for en typisk situation med lavt elforbrug og lave elpriser om natten og en typisk situation med højt elforbrug og høje elpriser om dagen. Denne situation kunne i princippet være fra referencen i 2025 uden varmepumper og elbiler. Gennemgangen af den simple model leder frem til de analyser, der er foretaget med SIVAEL.

Figur B1 herunder illustrerer de forsimplede forhold.





Figur B1 Typisk nat- og dagsituation for referencen i 2025 uden varmepumper og elbiler.

### Natsituationen

I den viste situation er vindproduktionen i Danmark 5.000 MW, den bundne elproduktion som følge af kraftvarmeproduktion er 2.000 MW, og forbruget er 2.500 MW. Dermed er produktionsoverskuddet i Danmark på 4.500 MW, som skal sælges til det nabo-område, hvor elprisen er højest – i dette tilfælde Norden. Kapaciteten mod Norden er 4.000 MW, og da produktionsoverskuddet i Danmark er 4.500 MW, betyder det, at der yderligere skal eksporteres 500 MW til Tyskland. Vi får den tyske elpris i Danmark, idet forbindelsen mod Norden løber fuld.

### Dagsituationen

Om dagen er vindkraftproduktionen i dette tilfælde antaget til at være faldet til 0 MW. Kraftvarmeproduktionen er steget til 3.000 MW og forbruget til 6.000 MW. Der er nu et underskud af effekt i Danmark på 3.000 MW, som kan dækkes enten ved import eller ved egenproduktion (kondens). Løsningen afhænger igen af priserne i nabo-områderne.

Den tyske elpris er nu meget høj (600 kr./MWh), og den nordiske elpris er lavere (475 kr./MWh). Derfor vil Tyskland købe så meget el som muligt i Norden, hvilket svarer til udvekslingskapaciteten på 2.600 MW.<sup>30</sup> Den samlede efterspørgsel på el i Danmark bliver i denne situation i alt 5.700 MW (3.000 MW til at dække det danske forbrug og 2.600 MW til Tyskland). Elprisen i Norden er 475 kr./MWh, og de danske elproducenter vil derfor producere på kraftværker, der kan gøre det billigere end denne pris. Det svarer i den skitserede situation til ca. 2.500 MW i Danmark. Resten, ca. 3.100 MW, importeres fra Norden, hvorved forbindelsen mod Norden ikke løber fuld. Dermed bliver elprisen i Danmark den samme som den nordiske elpris på 475 kr./MWh.

Figur B2 viser de samfundsøkonomiske omkostninger og indtægter for el- og kraftvarmesystemet for henholdsvis dag- og natsituationen for referencen i 2025 uden varmepumper og elbiler.

Omkostninger/Indtægter	Nat kr./ton	Dag kr./ton
Egen termisk produktion	-550.000	-2.000.000
I alt	+900.000	-1.900.000

Figur B2 Omkostninger for el- og kraftvarmesystemet for henholdsvis dag- og natsituation. Reference 2025 uden varmepumper og elbiler.

Om natten overstiger eksportindtægterne omkostningerne fra en lav produktion på de termiske anlæg. Omvendt er der netto-omkostninger i dag-timen, hvor der importeres og produceres på termiske anlæg. Samlet set er omkostningerne ca. 1 mio. kr. i timen.

<sup>30</sup> Som det fremgår af figuren, kan der godt være forskel på kapaciteterne nord/syd på grund af lokale forhold i områderne.

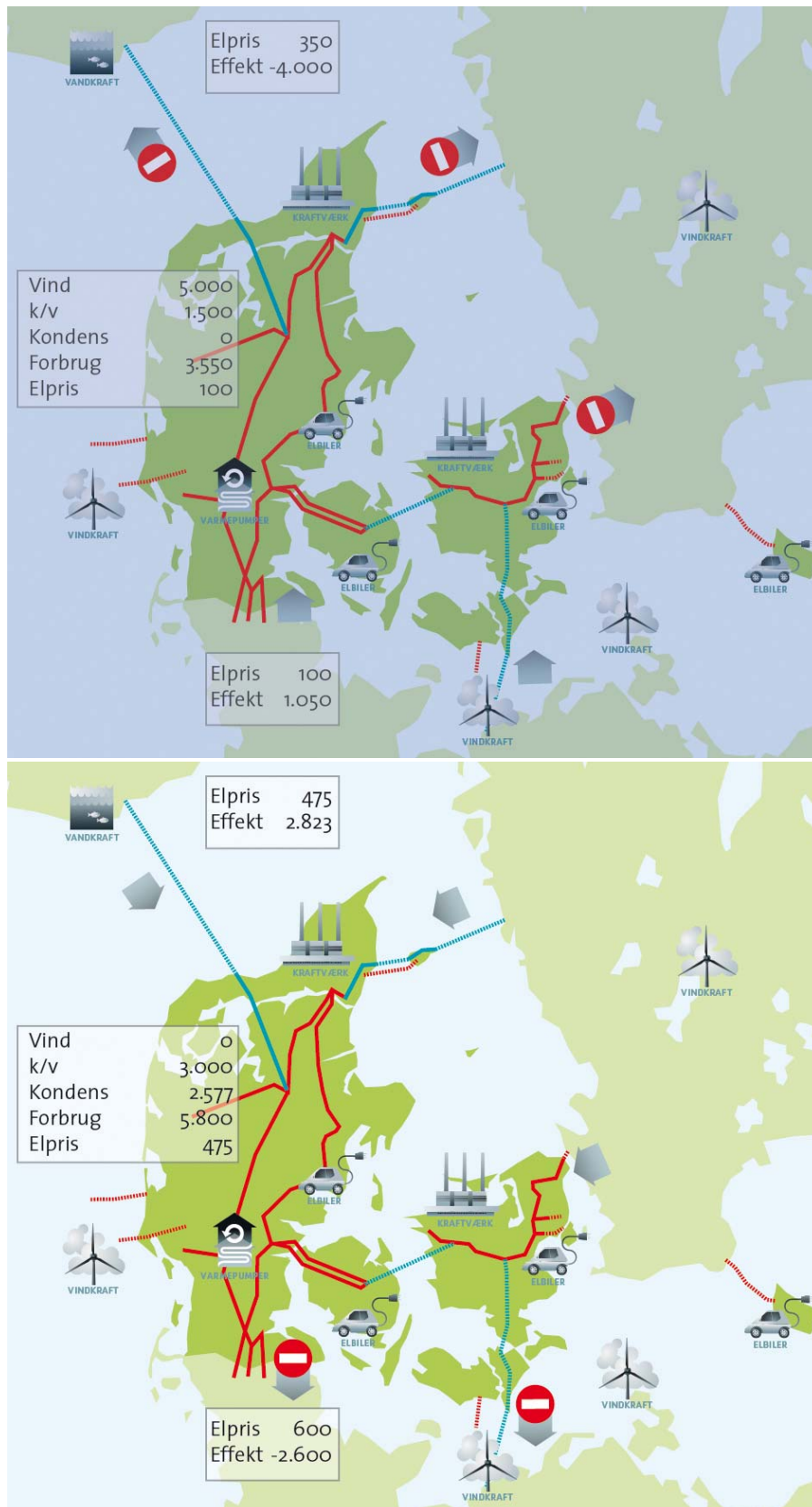
I det følgende beskrives typiske situationer i den danske elbalance ved antagelser om:

- Implementering af varmepumper og elbiler
- Udbygning af forbindelse mod Tyskland
- Øget udbygning med vindkraft i vores nabo-områder.

Efter gennemgang af den forsimplede model vises resultaterne af de detaljerede SIVAEL-simuleringer.

### **Implementering af varmepumper og elbiler**

Implementering af varmepumper og elbiler vil betyde et øget elforbrug i timer med lave elpriser og en mulighed for levering af energi fra elbilerne til elnettet i timer med høje elpriser. Samtidig vil varmepumperne og elbilerne betyde, at en mindre andel af elforbruget dækkes ved produktion på de konventionelle værker, dels som følge af en lavere kraftvarmebunden elproduktion, som erstattes af varmeproduktion fra varmepumper, og dels som følge af en højere indenlandsk anvendelse af vindkraftproduktionen. Betydningen af dette for energibalancen samt prisdannelsen for el er illustreret i nedenstående figur:



Figur B3 Typisk nat- og dagsituation for udbygningseksemplet med varmepumper og elbiler i 2025.

Om natten betyder implementeringen af varmepumperne og elbilerne, at der skabes plads til import af billig strøm fra Tyskland, samtidig med at importen fra Norden i dagtimerne med høje priser reduceres.

Figur B4 viser de samlede omkostninger for el- og kraftvarmesystemet for henholdsvis dag- og natsituationen for udbygningseksemplet med varmepumper og elbiler.

Omkostninger/Indtægter	Nat kr./ton	Dag kr./ton
Udveksling	+1.300.000	+200.000
Egen termisk produktion	-400.000	-2.000.000
<b>I alt</b>	<b>+900.000</b>	<b>-1.800.000</b>

Figur B4 Omkostninger for el- og kraftvarmesystemet for henholdsvis dag- og natsituation. Referencen med varmepumper, elbiler og øvrigt fleksibelt elforbrug.

Omkostningerne for elsystemet er faldet ca. 100.000 kr./time i forhold til referencen uden varmepumper og elbiler. I forhold til referencen er omkostningerne, når varmepumperne og elbilerne er implementeret, lidt lavere om dagen og ca. de samme om natten.

De største økonomiske gevinster ved implementering af varmepumper og elbiler kommer dog fra de brændselsomlægninger, der foretages uden for el- og kraftvarmesektoren, det vil sige i transportsektoren og i varmesektoren i område IV. I det gennemregnede eksempel udgør disse besparelser ca. 1 mio. kr./time og er dermed ca. 10 gange større end besparelserne i elsystemet.

Betydningerne ved implementering af varmepumper og elbiler er i det ovenstående beskrevet med udgangspunkt i en typisk nat-/dagtime for henholdsvis referencen med og uden varmepumper og elbiler. Figur B5 viser de samlede resultater ved implementering af varmepumper og elbiler, hvor situationen i alle årets timer er analyseret i simuleringssystemet SIVAEL.

	Netto eleksport	Elforbrug	Elproduk- tion, ekskl. vind	CO <sub>2</sub> -ud- ledning	Samlede omkost- ninger
	TWh/år	TWh/år	TWh/år	Mio. ton/år	Mia. kr./år
Reference 2025 – uden varmepumper og elbiler	10	37	27	19	7
Udbygningseksem- pel 2025 med var- mepumper og elbi- ler	4	44	28	14	4,5

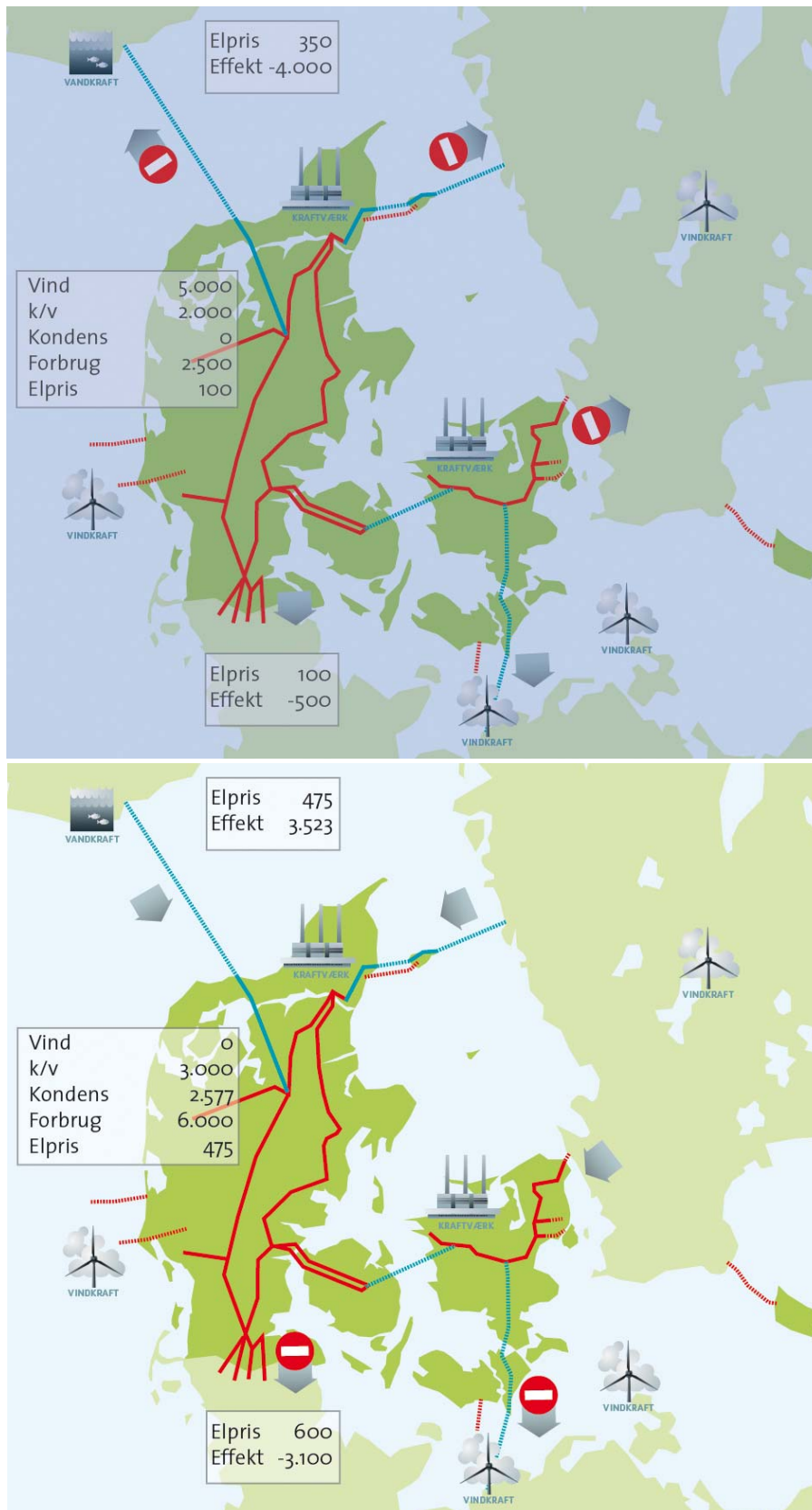
Figur B5 Nøgletal for henholdsvis referencen i 2025 uden varmepumper og elbiler, og udbygningseksempel for 2025 med varmepumper og elbiler.

Figur B5 viser, at implementering af varmepumper og elbiler betyder et nyt, stort fleksibelt elforbrug – i alt stiger elforbruget med 7 TWh/år. Dette nye, fleksible elforbrug forbedrer mulighederne for at udnytte en større del af den danske vindkraftproduktion indenlands, hvilket i tabellen udtrykkes ved et fald i nettoeleksporten på ca. 6 TWh/år samtidig med, at den konventionelle indenlandske elproduktion kun stiger med 1 TWh/år. Energisektorens samlede CO<sub>2</sub>-udledning reduceres ca. 5 mio. ton/år som følge af energieffektivitet og VE-baserede løsninger, der erstatter teknologier baseret på fossile brændsler. Varmepumperne og elbilerne medfører samtidig en reduktion af energisektorens samlede omkostninger på ca. 2,5 mia. kr./år.<sup>31</sup>

### Betydning af øget kapacitet mod Tyskland

En øget udvekslingskapacitet mod Tyskland til 3.100 MW i begge retninger, med udgangspunkt i den samme indenlandske effektsituation, som i referencen giver følgende udvekslingsbillede:

<sup>31</sup> Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.



Figur B6 Typisk nat- og dagsituation for reference 2025 uden varmepumper og elbiler, med øget kapacitet mod Tyskland i 2025.



Når kapaciteten mod Tyskland øges til 3.100 MW i begge retninger, øges transitkapaciteten i Danmark med 600 MW. Om natten er der ingen ændring, da grænsen mod Norden stadig er lukket, og elforbruget i Danmark er det samme som før.

Figur B7 viser de samlede omkostninger for el- og kraftvarmesystemet for henholdsvis dag- og natsituationen for referencen i 2025 uden varmepumper og elbiler, med øget kapacitet mod Tyskland.

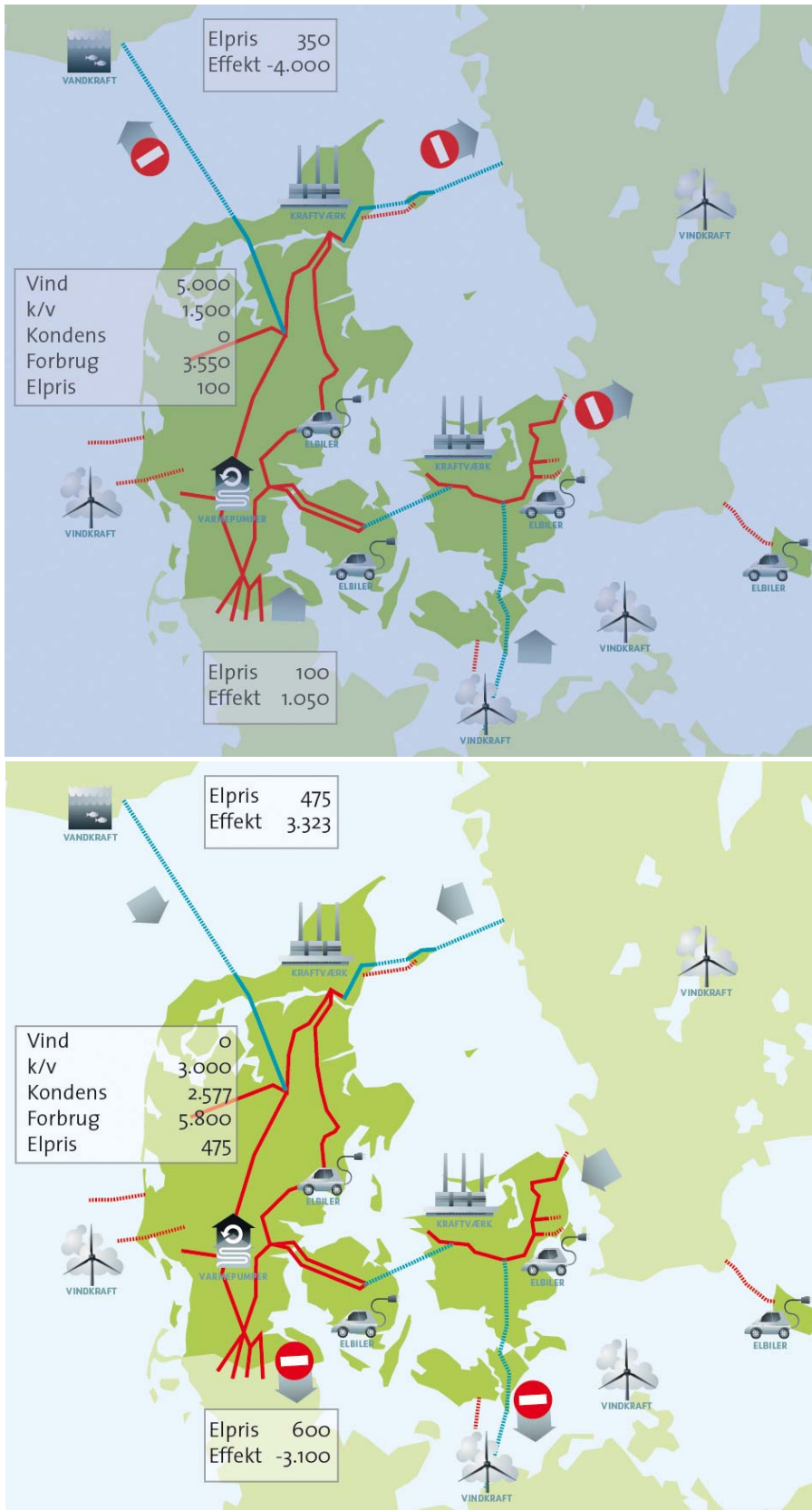
Omkostninger/Indtægter	Nat kr./ton	Dag kr./ton
Udveksling	+ 1.500.000	+ 200.000
Egen termisk produktion	-600.000	-2.000.000
<b>I alt</b>	<b>+900.000</b>	<b>-1.800.000</b>

Figur B7 Omkostninger for el- og kraftvarmesystemet for henholdsvis nat- og dagsituation. Referencen 2025 uden varmepumper og elbiler, med øget kapacitet mod Tyskland.

I nattetimerne er omkostningerne i Danmark de samme som før kapacitetsudvidelsen mod Tyskland. I dagtimerne er omkostningerne i forhold til referencen uden varmepumper og elbiler faldet, da der nu kan importeres billigere strøm fra Norden, og det er muligt at eksportere mere strøm til Tyskland til en højere pris end før. Situationen svarer nogenlunde til situationen ved implementering af varmepumper og elbiler uden øget udvekslingskapacitet mod Tyskland.

Hvis der sideløbende med en opgradering af kapaciteten mod Tyskland implementeres varmepumper og elbiler, får det følgende konsekvenser for udvekslingssituationen mellem Danmark og vores nabo-områder:





Figur B8 Typisk nat- og dagsituation for udbygningseksemplet med øget kapacitet mod Tyskland i 2025 og implementering af elbiler, varmepumper og fleksibelt elforbrug.

Omkostninger/Indtægter	Nat kr./ton	Dag kr./ton
Udveksling	+1.300.000	+300.000
Egen termisk produktion	-400.000	-2.000.000
<b>I alt</b>	<b>+900.000</b>	<b>-1.700.000</b>

Figur B9 Omkostninger for el- og kraftvarmesystemet for henholdsvis dag- og natsituation. referencen med varmepumper, og elbiler, samt øget kapacitet mod Tyskland.

Som før kapacitetsudvidelsen mod Tyskland, falder omkostningerne i Elsystemet med ca. 100.000 kr./time ved implementering af varmepumper og elbiler. Samfundsøkonomisk set er det dermed en fordel at implementere varmepumper og elbiler, uanset om kapaciteten øges mod Tyskland eller ej.

Betydningerne ved implementering af varmepumper og elbiler er i det ovenstående beskrevet med udgangspunkt i en typisk nat-/dagtime for henholdsvis referencen med og uden varmepumper og elbiler. Figur B10 viser de samlede resultater ved implementering af varmepumper og elbiler og øget kapacitet mod Tyskland, hvor situationen i alle årets timer er analyseret i simuleringsprogrammet SIVAEL.

	Netto eleksport  TWh/år	Elforbrug  TWh/år	Elproduktion, ekskl. vind  TWh/år	CO <sub>2</sub> -udledning  mio. ton/år	Samlede omkostninger mia. kr./år
Reference 2025 Uden varmepumper og elbiler	10	37	27	19	7
Reference 2025 uden varmepumper og elbiler, med øget kapacitet mod Tyskland	8	37	25	18	6
Udbygningseksempel 2025 Med øget kapacitet mod tyskland og varmepumper og elbiler.	2	44	26	13	3

Figur B10 Nøgletal for henholdsvis referencen for 2025 med øget kapacitet mod Tyskland og udbygningseksempel 2025 med øget kapacitet mod Tyskland og varmepumper og elbiler.

Figur B10 viser, at en øget kapacitet mod Tyskland betyder et fald i nettoeksporten på 2 TWh/år og et tilsvarende fald i den indenlandske elpro-

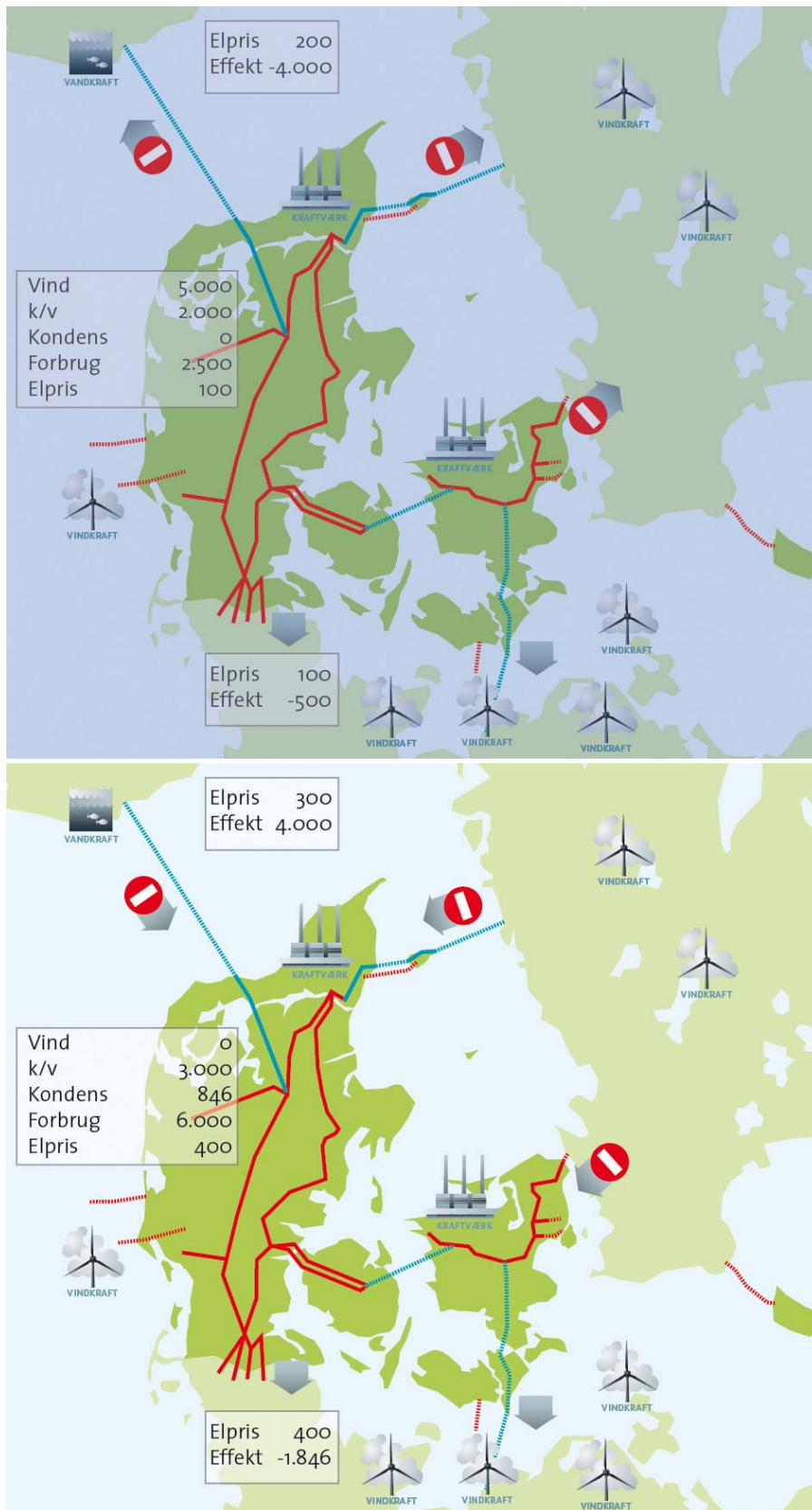
duktion i forhold til referencen, da Danmark dermed får bedre mulighed for at importere billig el fra Tyskland. Energisektorens samlede omkostninger reduceres med ca. 1 mia. kr./år ved en øget kapacitet mod Tyskland i forhold til referencen.

Hvis der sideløbende med opgraderingen af kapaciteten mod Tyskland implementeres varmepumper og elbiler, stiger importen fra Tyskland yderligere, så netto eleksporten reduceres til ca. 2 TWh/år, og den indenlandske elproduktion falder tilsvarende. Dermed bliver de danske CO<sub>2</sub>-udledninger også reduceret, og den samlede CO<sub>2</sub>-udledning fra energisektoren bliver ca. 13 mio. ton. Energisektorens samlede omkostninger reduceres med 3 mia. kr./år<sup>32</sup> i forhold til situationen, hvor kapaciteten mod Tyskland øges uden der implementeres varmepumper og elbiler.

### **Betydning for udbygning med vindkraft i Norden og Tyskland**

I vores nabo-områder er der tilsvarende målsætninger omkring udbygning af vindkraftkapaciteten som i Danmark. Derfor analyseres i dette eksempel varmepumperne og elbilernes betydning i en situation, hvor der i både Norden og Tyskland udbygges kraftigt med vind samtidig med, at udlandsforbindelsen mod Tyskland er øget. Vindkraftudbygningen i vores nabo-områder betyder alt andet lige lavere elpriser i nabo-områderne. Betydningen af disse lavere elpriser i nabo-områderne, uden at der implementeres varmepumper og elbiler i Danmark, er illustreret i Figur B11.

<sup>32</sup> Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.



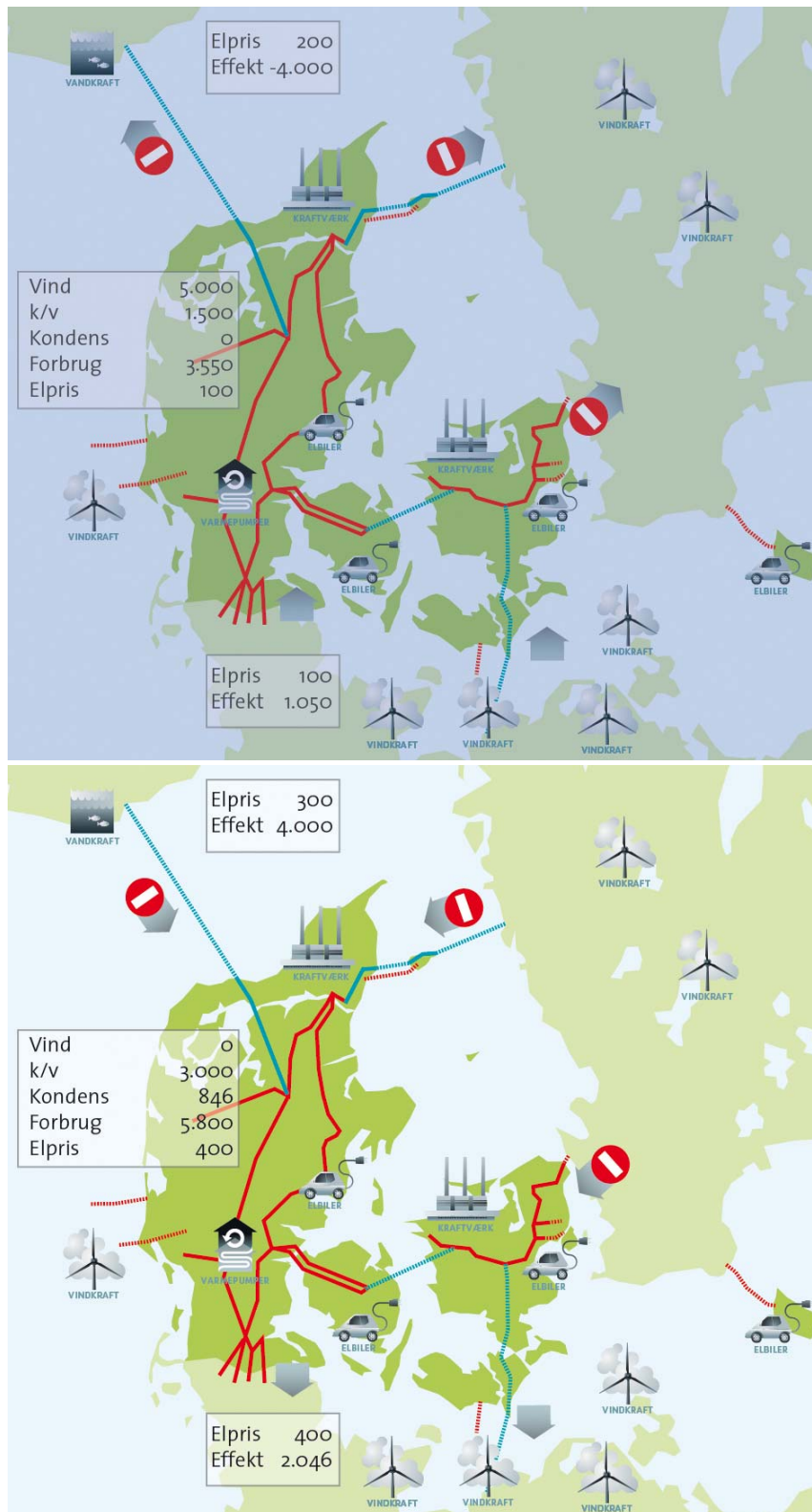
Figur B11 Typisk nat- og dagsituation for reference 2025 med øget kapacitet mod Tyskland i 2025 og kraftig vindkraftudbygning i Tyskland og Norden.

<b>Omkostninger/Indtægter</b>	<b>Nat kr./ton</b>	<b>Dag kr./ton</b>
Udveksling	+850.000	-450.000
Egen termisk produktion	-550.000	-1.200.000
<b>I alt</b>	<b>+ 300.000</b>	<b>-1.650.000</b>

Figur B12 Omkostninger for el- og kraftvarmesystemet for henholdsvis dag- og natsituation. Referencen 2025 med øget kapacitet mod Tyskland og kraft vindudbygning i Tyskland og Norden.

Vindkraftudbygningen i Norden og Tyskland betyder, at der i dagtimerne ikke kan eksporteres fuldt ud mod Tyskland, da forbindelserne mod Norden løber fuld, og vi derfor får tyske priser i Danmark. Da priserne er mindre i nabo-områderne, falder vores omkostninger tilsvarende.

Hvis der sideløbende implementeres varmepumper og elbiler, får det følgende indflydelse på udvekslingsbilledet:



Figur B13 Typisk nat- og dagsituation for referencen med øget kapacitet mod Tyskland i 2025, kraftig vindkraftudbygning i Tyskland og Norden samt implementering af el-biler, varmepumper og fleksibelt elforbrug.

Omkostninger/Indtægter	Nat kr./ton	Dag kr./ton
Udveksling	+ 700.000	-400.000
Egen termisk produktion	-400.000	-1.200.000
<b>I alt</b>	<b>+ 300.000</b>	<b>-1.600.000</b>

Figur B14 Omkostninger for el- og kraftvarmesystemet for henholdsvis dag- og natsituation. referencen med varmepumper, elbiler og øvrigt fleksibelt elforbrug. Øget kapacitet mod Tyskland og kraftig vindkraftudbygning i Tyskland og Norden.

Med en øget udvekslingskapacitet mod Tyskland samtidig med en øget vindkraftudbygning i vores nabo-områder falder omkostningerne i EI-systemet med ca. 50.000 kr./time ved implementering af varmepumper og elbiler. Samfundsøkonomisk set er det dermed en fordel at implementere varmepumper og elbiler, uanset om kapaciteten øges mod Tyskland eller ej – også hvis der samtidig udbygges kraftigt med vind i vores nabo-områder.

Betydningerne ved implementering af varmepumper og elbiler er i det ovenstående beskrevet med udgangspunkt i en typisk nat-/dagtime for henholdsvis en situation med øget vindkraftudbygning i Norden og Tyskland og en situation med øget vindkraftudbygning i Norden og Tyskland samt implementering af varmepumper og elbiler.

Figur B15 viser de samlede resultater for de to situationer på baggrund af SIVÆL-kørsler, hvor situationen i alle årets timer er analyseret.



	Netto eleksport	Elforbrug	Elproduk- tion, ekskl. vind	CO <sub>2</sub> - udledning	Samlede omkost- ninger
	TWh/år	TWh/år	TWh/år	Mio. ton/år	Mia. kr./år
Reference 2025 uden varmepum- per og elbiler	10	37	27	19	7,5
Reference uden varmepumper og elbiler samt øget kapacitet med Tyskland og Vind- kraftudbygning i Norden og Tysk- land	2,5	37	20	15	9,5
Udbygningsek- sempel med var- mepumper og elbiler og øget kapacitet mod Tyskland og vind- kraftudbygning i Norden og Tysk- land	-5,5	44	19	9	5,5

Figur B15 Nøgletal for henholdsvis referencen, referencen for 2025 med øget kapacitet mod Tyskland samt vindkraftudbygning i nabo-områderne, og udbygningseksempel for 2025 med øget kapacitet mod Tyskland, vindkraftudbygning i nabo-områderne og implementering af varmepumper og elbiler.

Figur B15 angiver nøgletallene for to situationer, hvor vindkraftkapaciteten i Norden og Tyskland, henholdsvis med og uden implementering af varmepumper og elbiler i Danmark. Begge tilfælde er analyseret med en øget kapacitet mod Tyskland for at tydeliggøre virkningerne af vindkraftudbygningen i Tyskland.

I Tyskland vil den øgede mængde vindkraft betyde flere og større pris-svingninger, og i disse tilfælde vil det være en fordel med et stort fleksibelt elforbrug i Danmark, da der dermed skabes gode betingelser for at agere på markedet i de situationer, hvor Tyskland har overskydende elproduktion. I Norden vil vindkraftudbygningen ikke have samme på-virkning på elprisen, da vandkraften kan lagre og udjævne vindkraftens indvirkning på elsystemet og elmarkedet, uden at komme i begrænsning i forhold til udlandsforbindelser.

I forhold til referencen betyder en markant vindkraftudbygning i nabo-områderne, at netto eleksporten reduceres med ca. 7 TWh/år, og den indenlandske konventionelle elproduktion falder tilsvarende. Den reducere eksport betyder, at energisektorens samlede netto-omkostninger stiger med ca. 2 mia. kr./år.



Hvis der implementeres varmepumper og elbiler sideløbende med en vindkraftudbygning i nabo-områderne, reduceres de samlede omkostninger i energisektoren med 4 mia. kr./år<sup>33</sup> i forhold til situationen, hvor der udbygges med vindkraft i nabo-områderne, og hvor der ikke implementeres varmepumper og elbiler. Det skyldes, at varmepumperne og elbilerne skaber en større efterspørgsel på el, og at deres fleksibilitet betyder mulighed for at importere, når elpriserne er lave. Samtidig betyder den øgede import fra Tyskland, at Danmark går fra at være nettoeksportør af el til at være nettoimportør af el.

### Følsomhedsberegninger

Ud over de resultater, der er præsenteret i rapporten og i dette Appendiks, er der foretaget en række følsomhedsberegninger for betydningen af implementering af varmepumper og elbiler, hvor der er ændret på vindkraftudbygning og udvekslingskapacitet.

Resultaterne viser, at for alle tilfælde vil en intelligent implementering af varmepumper og elbiler i Danmark resultere i en stigning i elprisen på 2-3 øre/kWh, CO<sub>2</sub>-udledningen i Danmark vil falde med ca. 5-6 mio. ton/år, heraf 4,5 ton/år i de ikke-kvotefattede sektorer. Samtidig falder omkostningerne i de berørte sektorer med 2,5-4 mia. kr./år.<sup>34</sup>

Analyseresultaterne er baseret på, at varmepumperne og elbilerne agerer intelligent i forhold til elsystemet og elmarkedet. Er dette ikke tilfældet, vil besparelsen i de samlede omkostninger for hele elsystemet blive ca. 1,7 mia. kr. mindre om året.

Figur B16 præsenterer nøgletal for implementering af varmepumper og elbiler ved forskellige forudsætninger for udvekslingsforbindelser til nabo-områderne, ved henholdsvis samme vindkraftudbygning i nabo-områderne som i referencen og ved markant højere vindkraftudbygning i nabo-områderne.

<sup>33</sup> Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

<sup>34</sup> Der er ikke indregnet omkostninger til styring af elbilsopladning samt mulighed for levering af effekt fra elbiler til elnettet med videre.

<b>Betydning ved implementering af varmepumper og elbiler</b>					
	<b>Elpris</b>	<b>Indenlandsk elproduktion</b>	<b>CO<sub>2</sub>-reduktion</b>	<b>Omkost i alt</b>	<b>Netto eleksport</b>
	<b>kr./MWh</b>	<b>GWh/år</b>	<b>Mio. ton/år</b>	<b>Mia. kr./år</b>	<b>TWh/år</b>
Reference uden varmepumper og elbiler	24	700	-5	-2,5	-6
Øget udvekslingskapacitet i forhold til referencen uden varmepumper og elbiler	22	600	-5	-3	-6
Mindre udvekslingskapacitet i forhold til referencen uden varmepumper og elbiler	24	700	-5	-3	-6
<b>Betydning ved implementering af varmepumper og elbiler - høj vindkraftudbygning i nabo-områder</b>					
	<b>Elpris</b>	<b>Indenlandsk elproduktion</b>	<b>CO<sub>2</sub>-reduktion</b>	<b>Omkost i alt</b>	<b>Netto eleksport</b>
	<b>kr./MWh</b>	<b>GWh/år</b>	<b>Mio. ton/år</b>	<b>Mia. kr./år</b>	<b>TWh/år</b>
Udbygningseksempel med varmepumper og elbiler	31	-600	-6	-4	-8
Øget udvekslingskapacitet i forhold til udbygningseksemplet med varmepumper og elbiler	20	-1.100	-6	-4	-9
Mindre udvekslingskapacitet i forhold til udbygningseksemplet med varmepumper og elbiler	21	-900	-6	-4	-8

Figur B16 Nøgletal for implementering af varmepumper og elbiler.

Den indenlandske elproduktion på de konventionelle kraftværker berøres kun i begrænset omfang af en implementering af varmepumper og elbiler. Den nødvendige ekstra elproduktion på ca. 7 TWh/år fås ved en mindre eksport af billig vindkraftproduktion i de situationer, hvor elforbruget er lavt, og produktionen er høj. Dette afhænger dog af vindkraftudbygningen i nabo-områderne – og dermed af elprisen i nabo-områderne. Bliver der høj vindkraftudbygning i vores nabo-områder, vil den indenlandske elproduktion falde som følge af en øget import.

De største ændringer – både økonomisk og CO<sub>2</sub>-mæssigt – ligger uden for el- og kraftvarmesektoren. Transport og individuel opvarmning står for besparelser på ca. 4,5 mio. ton CO<sub>2</sub> og ca. 2,5 mia. kr. i reducerede omkostninger som følge af brændselsomlægninger og mere effektive teknologier.