



# Strategisk energiplanlægning

ADAPT-energisystemanalyse

**DANMARK**  
**2025, 2035 OG 2050**

STATUSNOTAT  
November 2014

1.	Indledning .....	3
2.	Energinet.dk's hovedkonklusioner .....	4
3.	Analyseresultater på vindsporet .....	7
3.1	Elproduktionen .....	8
3.2	Varmeproduktionen .....	9
3.3	Gassektoren .....	10
3.4	Industrien .....	11
3.5	Transportsektoren .....	11
3.6	Biomasseressourcen .....	11
4.	Danmark i overblik .....	12
5.	Regionale perspektiver .....	12

## 1. Indledning

Energistyrelsen har i maj måned 2014 fremlagt rapporten 'Energiscenarier frem mod 2020, 2035 og 2050', der belyser fire mulige udviklingsscenarier for Danmark: et vindscenarie, et biomassescenarie, et bio+scenarie og et brintscenarie.

Energinet.dk har gennem 2013 og 2014 blandt andet leveret analysebidrag til scenarierapporten. Med baggrund i analysearbejdet vurderes det, at et vindscenarie er et robust udviklingsspor for Danmark, når den danske energiforsyning frem mod 2050 skal omstilles til vedvarende energi. Dette skyldes, at et vindspor reducerer afhængigheden af udenlandsk biomasse og derved mindsker følsomheden over for internationale prisstigninger på biomasse og mulige påvirkninger fra bæredygtighedsproblemer i tilknytning til biomassen.

Dette notat tager udgangspunkt i den situation, at nettoimport af biomasse fra udlandet ønskes holdt nede på et minimum af hensyn til energisystemets prisfølsomhed og bæredygtighed og giver under denne betingelse en kortfattet og koncentreret gengivelse af de væsentligste resultater og konklusioner på et vindspor.

### Analysen

Energinet.dk's analysebidrag bygger på en sammenhængende række af undersøgelser, hvor der er analyseret med forskellige forudsætninger og systemkonfigurationer. De viste analyseresultater i dette arbejdsnotat er således ikke udtryk for "én enkelt foretrukken beregning", men et udtryk for en sammenfatning og repræsentation af forskellige analysevarianter inden for et større udfaldsrum, der afgrænses af dagens viden om teknologimuligheder, ressourcestørrelser, prisudviklinger med videre.

Analyserne udføres i Energinet.dk's simuleringsmodel ADAPT (**A**daptive **D**yn**A**mic Energy System **P**lanning **T**ool), der optimerer fremtidige sammenhængende VE-energiscenarier ud fra at et kriterium om at opnå **den bedst mulige samfundsøkonomi**. Modellen er nærmere beskrevet i notatet "*ADAPT: Analyseværktøj for et samfundsøkonomisk effektivt energisystem*", der kan hentes på [www.energinet.dk](http://www.energinet.dk).

## 2. Energinet.dk's hovedkonklusioner

Omstillingen af det danske energisystem til vedvarende energi vil på kort og lang sigt være præget af, at Danmark også på energiområdet er en lille aktør i sammenligning med udlandet. Omverdenens udviklingsretning og omstillingshastighed har afgørende betydning for prisdannelsen på el og brændsler og i en vis udstrækning også for de generelle danske rammevilkår for teknologivalg. Det danske energisystems økonomi, teknologisammensætning og markedsmekanismer er derfor i stor udstrækning bestemt af en omverden, der frem mod 2050 forventeligt vil bevæge sig mod en grøn omstilling, men med varierende intensitet og i skiftende tempi.

I Energistyrelsens rapport *Energiscenarier frem mod 2020, 2035 og 2050*, er der analyseret på fire fremtidsscenarioer for Danmark samt et teoretisk scenarie, hvor Danmark frem mod 2050 fortsat overvejende er baseret på fossil energi:

- Vindscenariet er designet til udstrakt anvendelse af vindkraft, hvorved det danske biomasseforbrug i fremtiden stort set kan holdes på et niveau på omkring 250 PJ, der svarer til hvad Danmark stort set selv kan levere. Scenariet forudsætter en massiv elektrificering af transportområdet, industrien, fjernvarmeforsyningen og en kraftig udbygning med vindmøller. For at holde biomasseforbruget nede anvendes brint til opgradering af biomasse og biogas, så ressourcen rækker længere.
- Biomassescenariet designes til et årligt bioenergiforbrug på cirka 450 PJ. Dette indebærer således en netto-biomasseimport i en størrelsesorden af godt 200 PJ om året til Danmark for at sikre en tilstrækkelig energiforsyning. Biomassescenariet anvender ikke brint til opgradering.
- Bio+ scenariet designes som et brændselsbaseret energisystem, der i store træk minder om det system, som vi har i dag, blot med den forskel at kul, olie og naturgas erstattes med bioenergi. Der anvendes ikke brint til opgradering i Bio+ scenariet. Brændselsforbruget bliver godt 700 PJ.
- Brinscenariet er designet til et meget lille bioenergiforbrug på under 200 PJ. Scenariet indebærer en betydelig anvendelse af brint og en del mere vindkraft end i vindscenariet.
- Det fossile scenarie repræsenterer en tænkt situation, hvor fossile brændsler fortsat anvendes i Danmark og hvor der ses bort fra alle målsætninger og ambitioner. Det fossile scenarie illustrerer et alternativ, hvor der stræbes efter lavest mulig omkostning.

I dette notat fokuseres på et energiscenarie, der i det store hele svarer til Energistyrelsens vindscenarie. Når Energinet.dk fokuserer på netop vindscenariet, så skyldes det, at der er flere forhold der taler for vindscenariet som et sandsynligt udviklingsforløb for Danmark frem mod 2035 og videre frem mod 2050.

Energinet.dk har set på to mulige scenarier for det fremtidige udviklingsforløb i Danmarks omverden. Den ene yderlighed er en såkaldt "Blå omverden", der svarer til at omverdenen udvikler sig i et behersket tempo mod en grøn omstilling på grundlag af allerede vedtagne initiativer til begrænsning af klimapåvirkningerne. Den anden yderlighed er en "Grøn omverden" svarende til en hurtigere grøn udvikling med gennemførelse af nye initiativer, der bidrager til en begrænsning af den globale temperaturstigning i atmosfæren til maksimalt to grader.

Givet målsætningen om 100 % vedvarende energi i Danmark i 2050 viser Energinet.dk's analyser, at et scenarie med vindkraft som den primære vedvarende energikilde vil være et robust udviklingsspor for Danmark. Dette gælder uanset omverdenens omstillingstempo og uanset tidshorizonten. Men vindsporet er kun en god løsning, hvis det samlede energisystem konsekvent designes efter el som det bærende element i energisystemet. En stor fluktuerende og ikke-regulerbar vindkraftproduktion forudsætter, at

resten af energisystemet – elforbruget, varmeproduktionen, gasfremstillingen og transportområdet – i videst muligt omfang designes med udgangspunkt i el som den dominerende energibærer.

Ulempen ved vindsporet er investeringsomkostningerne i vindmøller, netforstærkninger, nye effektive back-up elproduktionsanlæg og elkabler til udlandet for at bevare en høj grad af elforsyningsikkerhed. Samlet set vil det dog fortsat være en god løsning for Danmark, hvis vi tilstræber det samfundsøkonomisk optimale miks mellem at bygge danske vindmøller, tilpasning af dansk termisk elproduktionskapacitet og udbygning med elkabler til udlandet.

**Udadtil** vil en dansk satsning på vindkraft indebære en begrænsning i fremtidig import af biomasse, hvorved den danske energiforsyning ikke udsættes for en brændselsafhængighed af udlandet med deraf følgende følsomhed over for internationale prisstigninger på biomasse, ligesom eventuelle følgeproblemer omkring energisystemets bæredygtighed reduceres.

Til gengæld flyttes tyngden i energisamhandlen med udlandet over på elområdet, hvorved den fremtidige udvikling i europæiske elpriser og Danmarks deltagelse i det europæiske elmarked bliver et kardinalpunkt for det danske energisystems fremtidige teknologimiks.

Tilgængeligheden til udenlandsk termisk elproduktionskapacitet (fx kulkraft eller kernekraft) afhænger af udlandets omstillingshastighed til vedvarende energi. Ved en forceret udenlandsk grøn omstilling vil der ske en hurtigere europæisk udbygning med vindkraft og solceller og en tilsvarende reduktion i udenlandsk termisk elproduktionskapacitet, hvorved dansk adgang hertil forringes. Ved en udenlandsk omstilling i et behersket tempo sikres Danmark derimod en form for et moratorium i VE-omstillingsprocessen, hvor et dansk vindspor kan forfølges, samtidig med at Danmark i vindfattige perioder fortsat kan drage fordel af udenlandsk termisk elproduktionskapacitet.

I fremtiden vil produktion af dansk naturgas i Nordsøen klinge af, og Danmark vil gå fra at være eksportør til at være importør og transitland for udenlandsk naturgas. Danmark vil dog også efter 2035 være en del af en europæisk naturgasinfrastruktur, uanset at det danske gasforbrug til den tid stort set kun svarer til mængden af VE-gas produceret i landet. Selvom Danmark således i sammenligning med de øvrige europæiske lande relativt hurtigt kan reducere forbruget af naturgas, vil Danmark fortsat – også efter 2035 – være omgivet af naturgasforbrugende lande og dermed en del af en europæisk naturgasinfrastruktur.

**Indadtil** bliver det en forudsætning for vindsporets konkurrencedygtighed, at de produktions- og forbrugsområder, der omkostningseffektivt kan elektrificeres, ikke i stedet baseres på biomasse. Et scenarie med tyngde på vindkraften vil i sagens natur systemmæssigt spille hensigtsmæssigt sammen med et øget brug af el til energieffektive og fleksible teknologier så som små og store eldrevne varmepumper, el i transport, el til dele af industriel procesvarme og på længere sigt brintproduktion ved elektrolyse (til forøgelse af mængden af VE-gas).

En generelt øget anvendelse af vindkraft og effektive elforbrugende teknologier indebærer, at gasinfrastrukturen i Danmark vil få en ændret rolle fra at være en hovedleverandør af brændsel til i fremtiden at opsamle, lagre og distribuere en mere begrænset mængde VE-gas, først og fremmest til brug for en stor skala-fleksibel elproduktion i vindfattige perioder. Idet opgraderet VE-gas er et høj kvalitets energiprodukt, men samtidig et forholdsvist kostbart og derfor begrænset produkt, vil gassen blive prioriteret til særlige anvendelser. I sammenligning med de eksisterende teknologiske alternativer vil det samfundsøkonomisk være en god forretning for Danmark fortsat at udnytte og tilpasse gasinfrastrukturen til energilagring af VE-gas til sikring af stor skala-fleksibilitet i energisystemet.

Frem mod 2035 og 2050 vil der som følge af udbygningen med vindkraft ske en tilpasning i nedadgående retning af den danske termiske elproduktionskapacitet på de centrale og decentrale kraftvarmeanlæg til et niveau, som elmarkedet tilsiger. I 2050 skal den danske elforsyningsikkerhed baseres på det samfundsøkonomisk optimale miks mellem danske vindmøller (samt solceller og eventuelt bølgekraft), elkabler til udlandet og dansk termisk elproduktionskapacitet på centrale og decentrale anlæg. Derfor står både centrale og decentrale værker i de kommende år over for en betydelig opgave med at tilpasse sig og gøre sig konkurrencedygtige til fremtidens elmarked. For de kraftvarmeværker, der er i stand til både at gennemføre omstillingen til grøn varmforsyning og samtidig bibeholde muligheden for elproduktion på gasmotorer og gasturbiner, vil også fremtiden byde på mulighed for indtægter fra elmarkedet, der kan medvirke til at reducere den lokale fjernvarmeudgift. Det forventes med den nuværende markedsmechanisme, at der, alt andet lige, vil komme flere timer med meget høje priser og flere timer med meget lave priser.

Energinet.dk er i 2014 og 2015 i samarbejde med danske energiaktører i færd med at undersøge muligheden for en fremtidig model for elmarkedet, den såkaldte Markedsmodel 2.0. Modellen tager udgangspunkt i, at elproducenterne og elforbrugerne så vidt muligt gennem velfungerende markedsmekanismerne skal sikre den fremtidige elforsyningsikkerhed. Under arbejdsprocessen omkring Markedsmodel 2.0 ses også på den eventuelle nødvendighed af og mulighed for supplerende betalingsmekanismer, der kan sikre den optimale kapacitet af dansk termisk elproduktion og afbrydeligt forbrug. Det forventes at mulige løsninger til en Markedsmodel 2.0 og til justeringer af markedsdesignet kan fremlægges sommeren 2015.

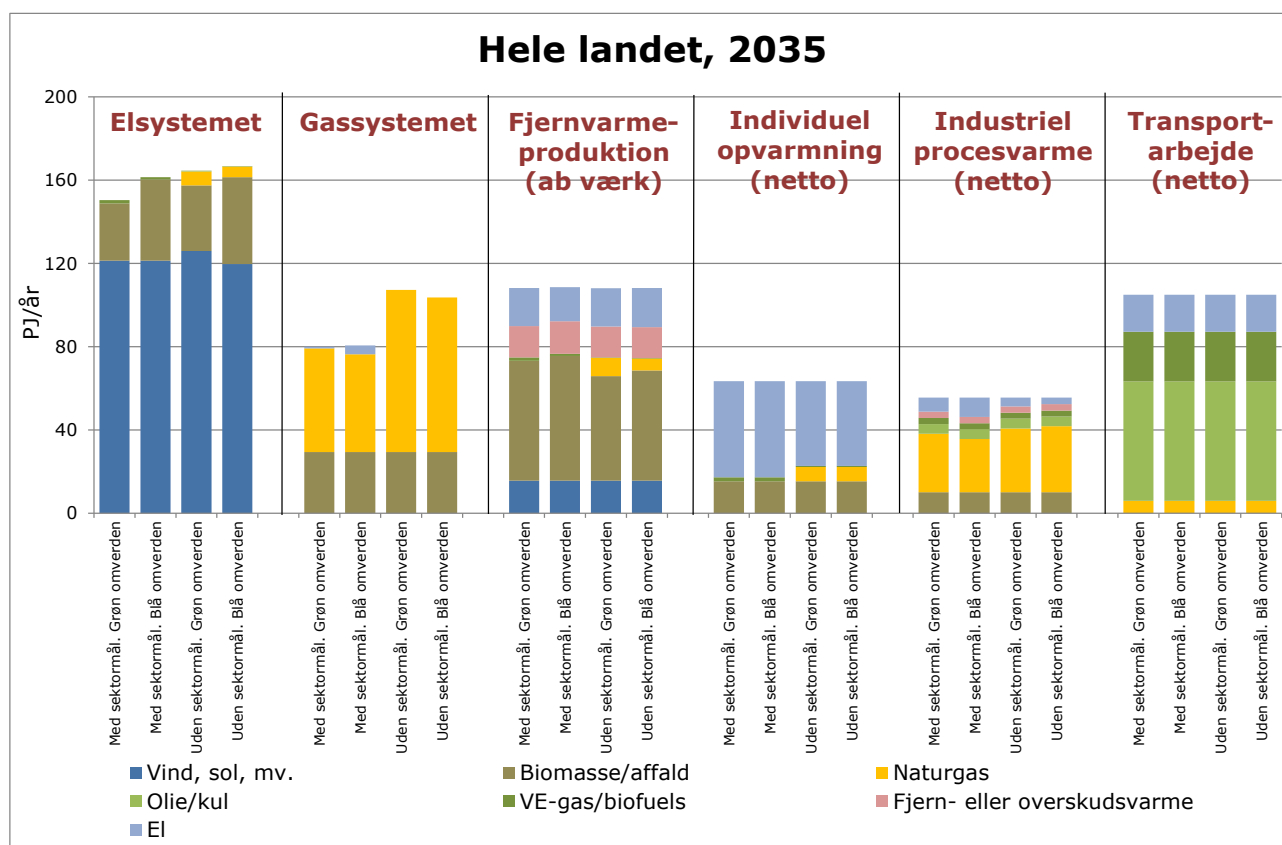
#### **Sammenfatning af Energinet.dk's analyse**

- Ved at forfølge vindsporet kan Danmark i fremtiden energiforsynes uden brug af fossile brændsler og uden betydende import af biomasse.
- Vindsporet er en robust og samfundsøkonomisk god løsning for Danmark uanset omverdenens udviklingsretning og omstillingshastighed og uanset tidshorizonten, og uanset om Danmark vælger at fastholde eller løsne op i forhold til sektormålet for el- og varmforsyningen i 2035.
- Vindsporet reducerer energisystemets følsomhed over for prisstigninger på biomasse og eventuelle bæredygtighedsproblematikker i tilknytning til biomasseanvendelsen.
- Vindsporets samfundsøkonomiske fordelagtighed afhænger af en høj grad af integration af elbaserede, effektive og fleksible energiteknologier i det danske energisystem.
- Vindsporet kræver omfattende anlægsinvesteringer og er dermed følsomt over for rentestigning.

### 3. Analyseresultater på vindsporet

Vindsporsanalysen viser, at det med de allerede kendte teknologier teknisk set er muligt at udfase brugen af kul, naturgas og fossil olie inden 2050 og erstatte disse først og fremmest med vindkraft og biomasse/affald og dernæst med solenergi, bølgekraft og geotermisk varme. I 2050 anvendes i vindsporet omtrent 250 PJ biomasse om året til energiformål svarende til det danske potentiale.

For vindsporet vil situationen stort set være den samme, hvad enten Danmarks omverden bevæger sig mod en grøn omstilling i et hurtigere eller langsommere tempo, og uanset om Danmark vælger at fastholde eller løsrive sig i forhold til sektormålet for el- og varmforsyningen i 2035. En ophævelse eller slækkelse af sektormålet vil resultere i et fortsat forbrug af naturgas også efter 2035, idet Danmark herved får en samlet set bedre samfundsøkonomisk løsning.

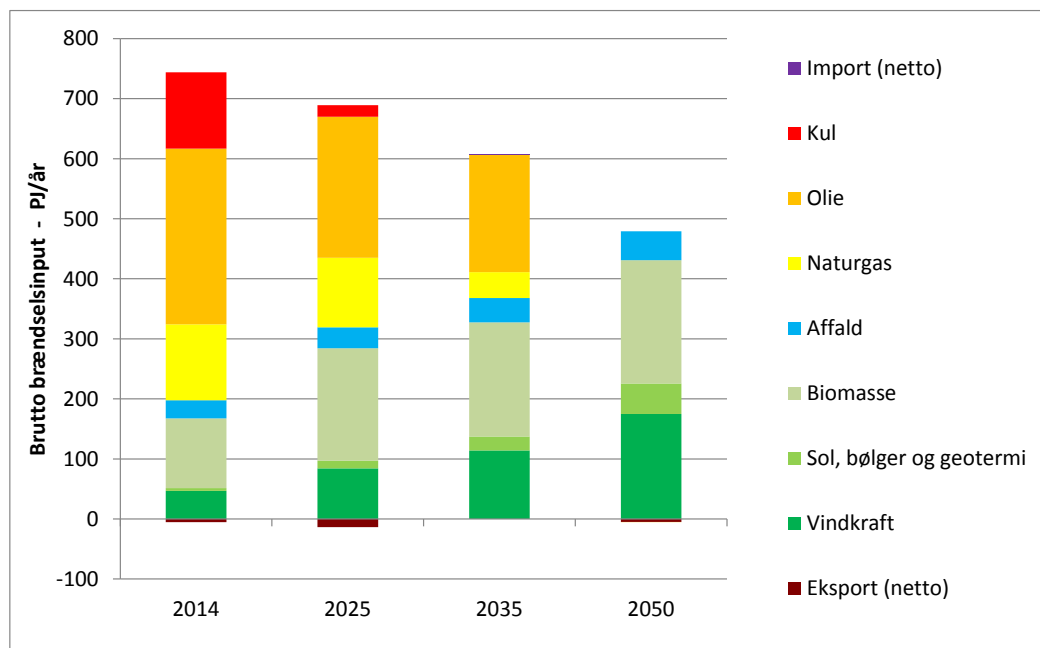


Figur 1: Vindsporet i 2035 i fire forskellige situationer: hhv. med og uden sektormål og hhv. i en grøn eller blå omverden. Søjlerne i 'Elsystemet' og 'Gassystemet' angiver, hvor stort en produktion af hhv. el og gas (fordelt på oprindelseskilder), der skal til for at drive det danske energisystem i 2035. Søjlerne i 'Fjernvarmeproduktion', 'Individuel opvarmning', 'Transport' og 'Industri' angiver output af energi (efter konverteringsanlæggene) til hhv. fjernvarme, individuel varme, transportarbejde og industriprocesvarme fordelt efter oprindelseskilder.

Forudsætningen for at kunne omstille Danmark til en energiforsyning uden brug af fossile brændsler og uden bindinger til en massiv import af udenlandsk produceret biomasse er, at forbruget af brændsler reduceres fra i dag over 750 PJ til et niveau på omkring 500 PJ i 2050 (figur 2). Hermed er allerede sagt, at en fortsat energibesparelsesindsats og en øget anvendelse af mere energieffektive teknologier er uomgængelige indsatsområder hele vejen frem mod 2050.

Optimeringen af vindscenariet indebærer, at vindkraften i Danmark udbygges markant. I 2050 vil den nødvendige produktion af el til forsyning af det danske elforbrug være næsten det dobbelte af det nuvæ-

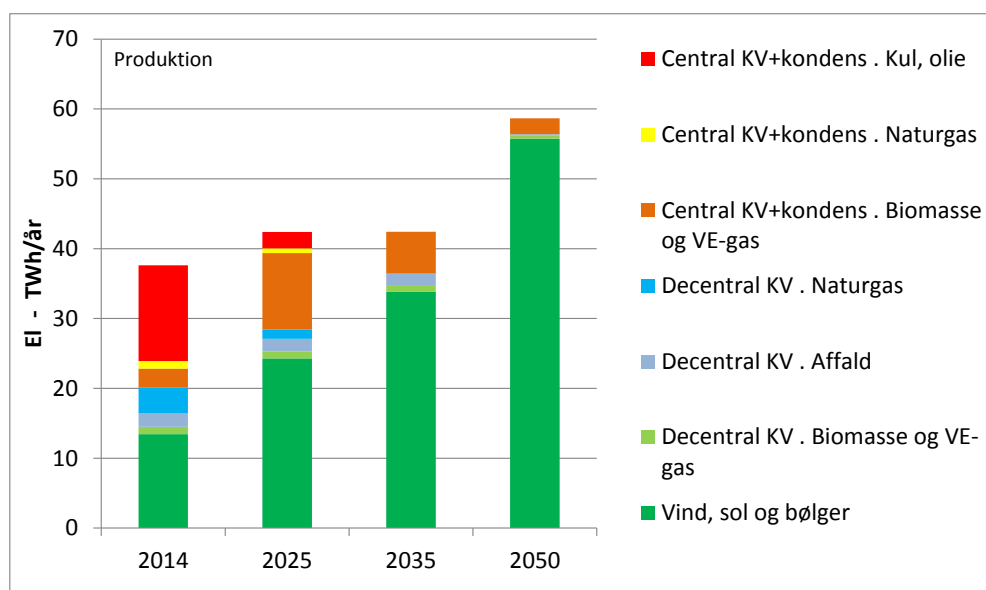
rende. Samtidig vil vindkraft komme til at udgøre den altdominerende andel af elproduktionen, suppleret af en begrænset elproduktion baseret overvejende VE-gas (figur 3).



Figur 2: Mulig vej for omstilling af Danmark til vedvarende energi via vindsporet. Scenariet er optimeret ud fra et kriterium om den lavest mulig samfundsøkonomiske omkostning til omstilling til vedvarende energi frem mod 2050. Selvom der er tale om et vindspor med vægt på udnyttelse af vindkraften, udgør brændselsinput fra biomasse og affald fortsat en større andel.

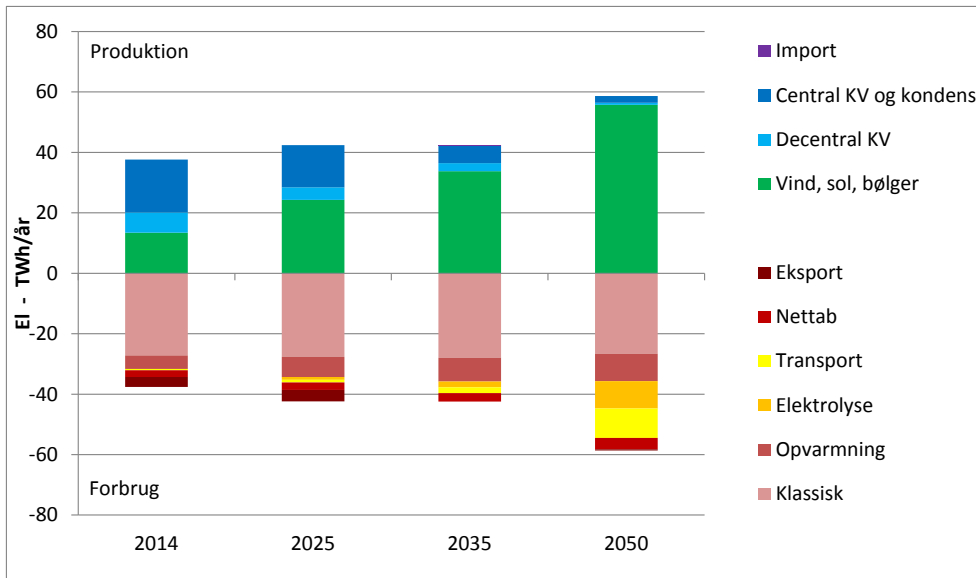
### 3.1 Elproduktionen

En samfundsøkonomisk optimering af energisystemet viser, at det for Danmark vil være en fordel at producere og bruge mere el. Elproduktionen bør i videst muligt omfang komme fra vindkraft og det ekstra elforbrug vil fremkomme ved øget anvendelse af eldrevne varmepumper til varmeproduktion, el i transport, el til industriel procesvarme og – på længere sigt – el til elektrolyse, der kan indgå i fremstillingen af biofuels til transportsektoren.



Figur 3: Et muligt udviklingsforløb i sammensætningen af energikilder til elproduktion frem mod 2050.

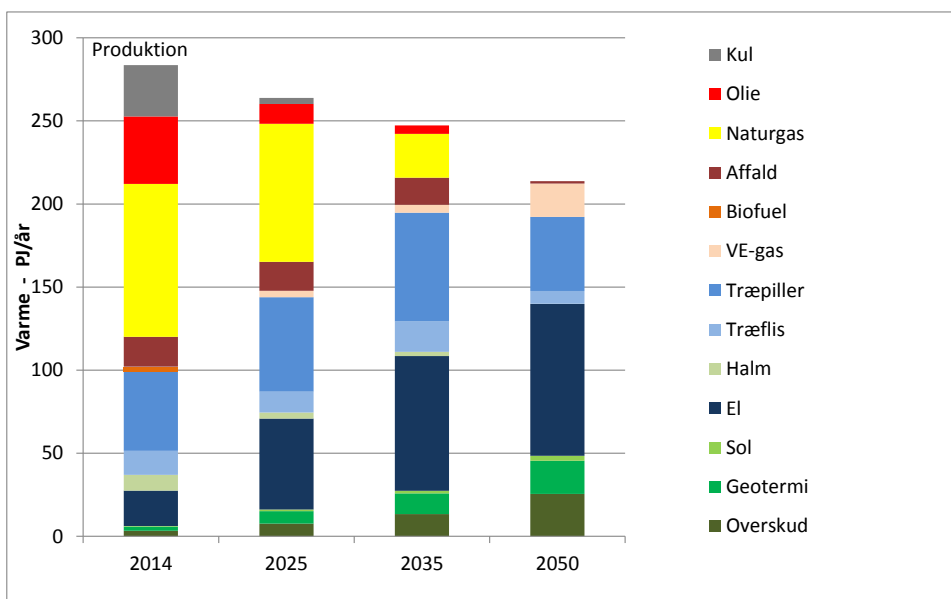




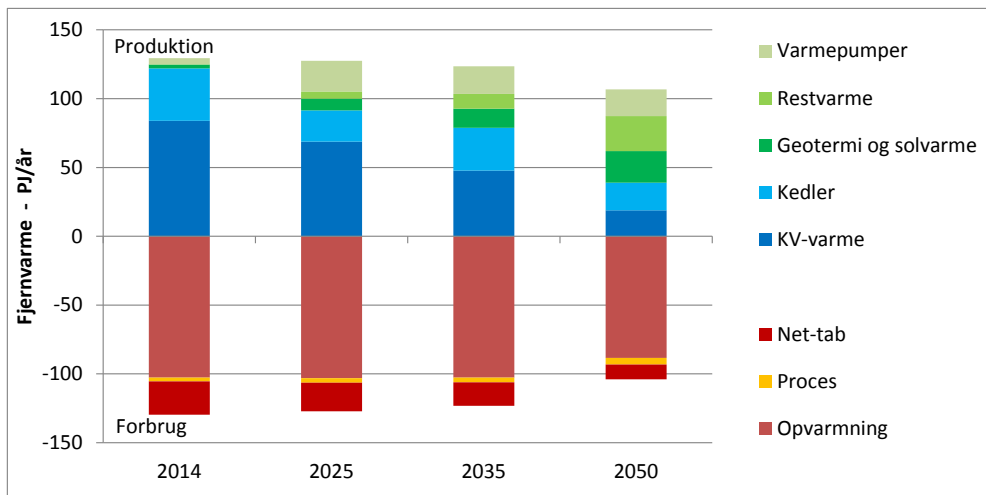
Figur 4: Et muligt udviklingsforløb for den danske elbalance frem mod 2050. På produktionssiden tager vindkraft, solceller og bølgeenergi over. På forbrugssiden udvikles nye elforbrug til transport, opvarmning ved hjælp af eldrevne varmepumper og til elektrolyse til produktion af brint, der kan indgå i fremstilling af grøn gas.

### 3.2 Varmeproduktionen

Varmeproduktionen i Danmark – både fjernvarmeproduktion og varmeproduktion hos individuelle varmekonsumenter – vil på længere sigt blive reduceret som følge af mere energieffektive bygninger. Kul, naturgas og fossil olie vil teknisk set kunne være helt ude af varmesektoren i 2035, samtidig med at varmesektorens anvendelse af biomasse reduceres kraftigt frem mod 2050. Vindsporsanalysen viser, at et i dag betydeligt biomasseforbrug i varmesektoren kan substitueres med vindkraft (til brug for varmeproduktion i varmepumper), solvarme, geotermisk varme, VE-gas og overskudsvarme. Årsagen til at det er af afgørende betydning at få reduceret anvendelsen af biomasse i varmesektoren er, at det især i perioden fra 2035 og 2050 bliver nødvendigt at kunne prioritere så meget af biomassen som muligt til transportsektoren. I modsætning til varmesektoren har især den tunge del af transportsektoren i dag - og forventeligt også i fremtiden - kun få eller ingen alternativer til drivmidler baseret på biomasse.



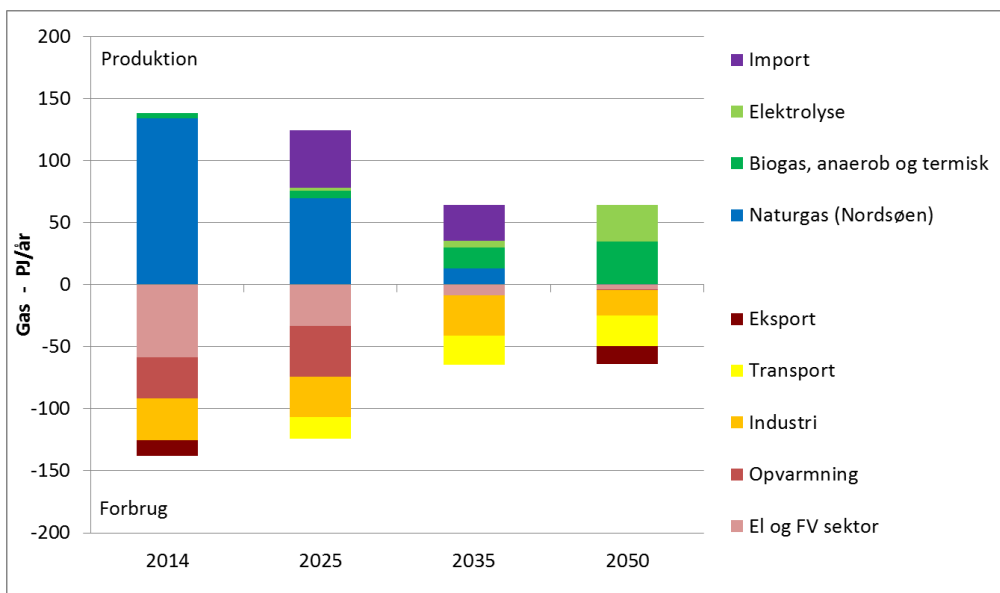
Figur 5: En mulig udvikling i varmeproduktionen til fjernvarme, individuelle varmekonsumenter og industri i Danmark. Naturgas, olie og kul er udfaset efter 2035 og erstattes af overskudsvarme, geotermisk varme, solvarme samt en betydelig anvendelse af eldrevne varmepumper.



Figur 6: Et muligt udviklingsforløb for den danske fjernvarmesektors varmebalance frem mod 2050. På produktionssiden tager varmepumper, geotermisk varme, solvarme og overskudsvarme over. På forbrugssiden vil anvendelse af fjernvarme til procesformål i industrien kunne stige en smule, mens det forventes at nettabet frem mod 2050 reduceres.

### 3.3 Gassektoren

Lige som for varmesektoren forventes det, at den danske gassektor frem mod 2050 vil komme gennem en omstillingsproces. Forbruget af gas i Danmark vil blive betydeligt reduceret. Samtidig ændres gassens rolle fra i dag at udgøre fundamentet for en stor del af den danske el- og varmeproduktion til i fremtiden at blive en prioriteret ressource til termisk elproduktion i vindfattede perioder og til at bidrage til industriens forbrug af procesvarme og til den tunge del af transportsektoren.



Figur 7: Et muligt udviklingsforløb for den danske gassektors energibalanc frem mod 2050. Naturgassen forsvinder efter 2035 og erstattes herefter af VE-gasser. Det danske forbrug af gas reduceres markant fra 2014 til 2050 som følge af gassektorens ændrede rolle i energisystemet.

Gassektoren må således forventes at undergå en forandring fra en rolle som hovedleverandør af varme til i fremtiden at varetage en anden, men vigtig rolle som en backup-elforsyning i et dansk VE-system, der grundlæggende er bygget op omkring en dominerende vindkraftproduktion.

### 3.4 Industrien

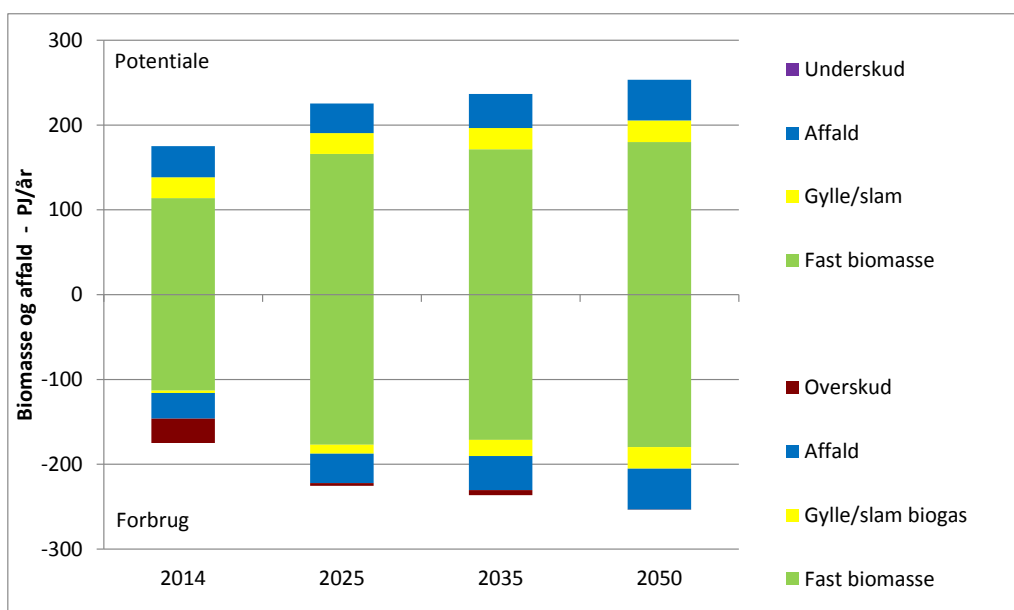
Det er vurderet, at op mod halvdelen af industriens procesvarme på langt sigt kan dækkes ved eldrevne varmepumper og fjernvarme (eksempelvis tørreprocesser eller andet, hvor lavtemperatur varme kan dække dele af behovet). Den resterende halvdel af procesvarmen antages frem mod 2050 at skifte til ren el (ca. 20 %) og VE-gasser/biobrændsler (ca. 30 %). Kapitalomkostningerne ved konvertering af industriens fossile brændselsforbrug til el- eller biomasse er dog relativt store både med hensyn til apparat-udskiftning og tilslutningsafgift. Levetiden for eksisterende naturgasanlæg kan forlænges ved små reinvesteringer. Konvertering bør derfor ikke forceres, da det kan forringe industriens konkurrenceevne.

### 3.5 Transportsektoren

Transportområdet beskrives ofte som den sektor i energisystemet, der giver de største udfordringer i forhold til omstillingen til vedvarende energi. Transportområdet energiforbrug udgør cirka 25 procent af bruttoenergiforbruget i dag og er samtidig et af de energitjenesteområder, der forventes at vokse mest frem mod 2050. Transportsektoren – især den tunge del af sektoren - kan fra 2035 og frem mod 2050 og selv derefter i stort omfang være afhængig af biofuels til anvendelse i de traditionelle motorteknologier, som vi kender i dag. Det indebærer, at transportsektoren til den tid er kraftigt afhængig af, at der er de nødvendige biomasseressourcer til rådighed for fremstilling af biofuels. I øjeblikket er der ikke mange valgmuligheder for den tunge del af transportsektoren, og sektoren er således en medvirkende årsag til, at der så vidt muligt bør anvendes minimalt med biomasse til fx simpel varmeproduktion.

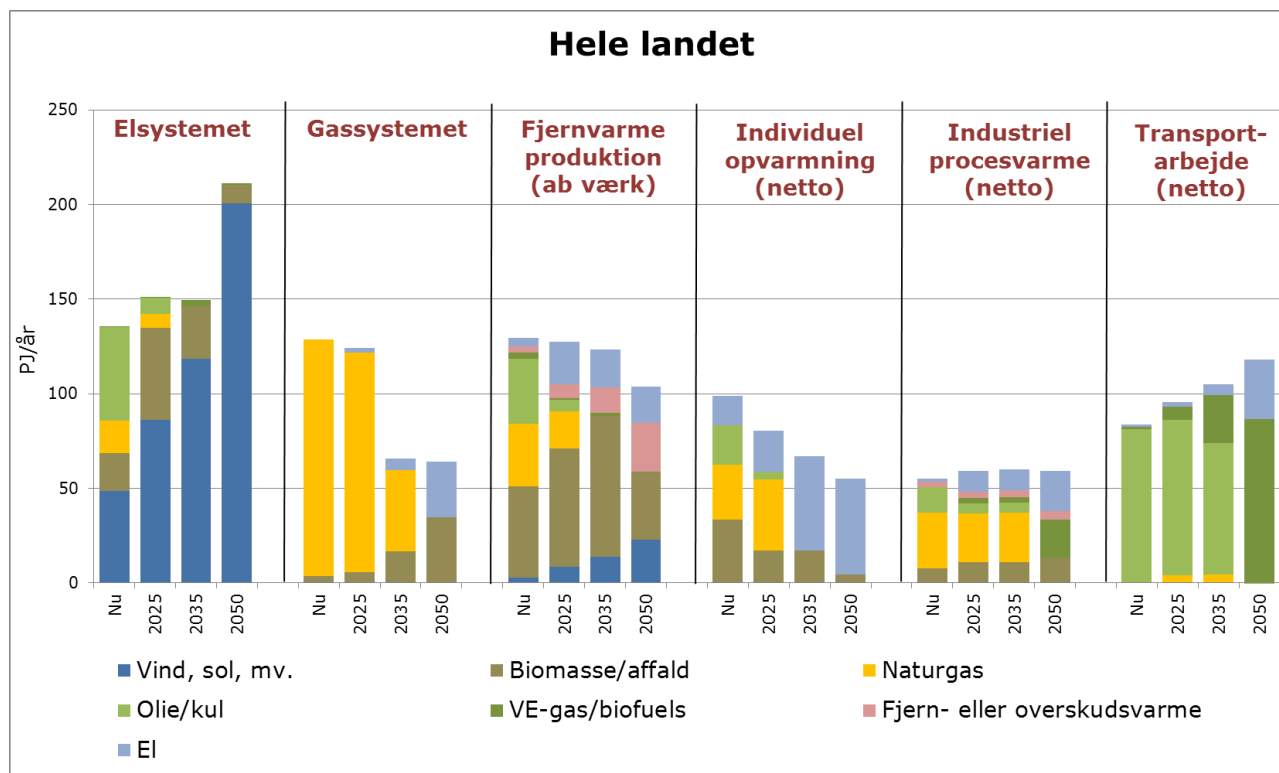
### 3.6 Biomasseressourcen

Med udgangspunkt i *Analyse af bioenergi i Danmark* (Energistyrelsen, maj 2014) vurderer Energinet.dk, at Danmark i 2050 har indenlandske biomasseressourcer svarende til 250 PJ, der årligt kan produceres som energiafgrøder og fremskaffes som restprodukter fra land- og skovbrug på et miljømæssigt forsvarligt grundlag. Hvis det i fremtiden bliver en grundlæggende dansk målsætning at begrænse nettoimport af biomasse fra udlandet af hensyn til forsyningssikkerhed og/eller bæredygtighed, kan selv et vindspor, der jf. analysen bruger i en størrelsesorden af 250 PJ om året, være udfordret af begrænsningen i det danske biopotentiale. Dette understreger betydningen af at prioritere biomassen til områder, der ikke har alternativer.



Figur 8: Et muligt udviklingsforløb i produktion af dansk biomasse til energiformål frem mod 2050. Det danske forbrug vil kunne svare til det danske potentiale, men det må fortsat antages, at Danmark som en del af en åben, global økonomi vil sælge og købe de forskellige biomassetyper til og fra udlandet for løbende at opnå det bedst mulige miks af biomassetyper.

## 4. Danmark i overblik



Figur 9: Vindsporet for Danmark frem mod 2025, 2035 og 2050 i overblik. Søjlerne i 'Elsystemet' og 'Gassystemet' angiver, hvor stort en produktion af hhv. el og gas (fordelt på oprindelseskilder), der skal til for at drive det danske energisystem i 2025, 2035 og 2050. Søjlerne i 'Fjernvarmeproduktion', 'Individuel opvarmning', 'Transport' og 'Industri' angiver output af energi (efter konverteringsanlæggene) til hhv. fjernvarme, individuel varme, transportarbejde og industriprocesvarme fordelt efter oprindelseskilder.

## 5. Regionale perspektiver

Energinet.dk har med udgangspunkt i analyserne for Danmark gennemført en "opsplitning" af resultaterne på de fem danske regioner samt Fyn med det formål at danne udgangspunkt for dialog med regionale og kommunale projekter om muligheder og udfordringer i den strategiske energiplanlægning.

Notater for de fem danske regioner (Hovedstaden, Sjælland, Syddanmark, Midtjylland og Nordjylland) samt Fyn kan hentes på [www.energinet.dk](http://www.energinet.dk).

