

# 07

## Vindkraftens pris

Samfundsøkonomiske omkostninger ved udbygning af vindkraft





# 07

## Vindkraftens pris

Samfundsøkonomiske omkostninger ved udbygning af vindkraft



Journal nr.: IMV-265-00002

ISBN: 87-7992-053-5

Forfattere: Rico Busk (IMV), Anders Larsen (IMV), Jesper Munksgaard (AKF),  
Lise Skovsgaard Nielsen (IMV), Uffe Nielsen (IMV), Lise-Lotte Pade (IMV),  
Lykke Mulvad Jeppesen (IMV), Cecilie Olsen (IMV)

Udgivet: Juni 2007.

© 2007, Institut for Miljøvurdering

For mere information, kontakt venligst:

Institut for Miljøvurdering

Amaliegade 44

DK-1256 København K

Danmark

Tlf. +45 3344 5800

[imv@imv.dk](mailto:imv@imv.dk)

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

Efter 1. juli 2007 kontakt venligst:

De Økonomiske Råds Sekretariat

Amaliegade 44

DK-1256 København K

Danmark

Tlf. +45 3344 5800

Fax +45 3344 5879

[dors@dors.dk](mailto:dors@dors.dk)

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

# Indholdsfortegnelse

<b>Resume</b>	<b>3</b>
<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>1. Introduktion og formål</b>	<b>15</b>
1.1 Formål	16
1.2 Beregningsmetode i dette studie	16
1.3 Afgrænsning og forudsætninger	18
1.4 Rapportens opbygning	22
<b>Del I: Baggrund</b>	<b>23</b>
<b>2. Den historiske vindkraftudbygning globalt og i Danmark</b>	<b>25</b>
2.1 Udviklingen i global kapacitet	25
2.2 Udviklingen i de ti førende lande	26
2.3 Udviklingen i Danmark	27
2.4 Vurdering af den danske udvikling	29
<b>3. Det danske og nordiske el-system</b>	<b>31</b>
3.1 Kapacitet, produktion og forbrug.	31
3.2 Det Nordiske marked, Nordpool	32
3.3 Integration af el-system og el-marked i denne rapport	34
<b>Del II: Samfundsøkonomisk analyse af vindkraftudbygning</b>	<b>35</b>
<b>4. Samfundsøkonomisk analyse i dette studie</b>	<b>37</b>
4.1 Hvorfor endnu et studie om vindkraftens samfundsøkonomi?	37
4.2 Hvilke samfundsøkonomiske omkostninger undersøges i IMV's analyse?	39
4.3 Omkostninger relateret til investeringsforløbet	40
<b>5. Samfundsøkonomisk omkostningsanalyse</b>	<b>43</b>
5.1 Resultater af centrale beregninger	43
5.2 Diskussion: Omkostningerne stiger med øget udbygning	45
5.3 Diskussion: Effekter på CO <sub>2</sub> -udledning og el-prisen	50
5.4 Diskussion: Sammenligning af vind og biomasse	54
5.5 Diskussion: Forudsætningernes betydning for resultaterne	55
<b>6. Følsomhedsberegninger</b>	<b>59</b>
6.1 Samfundsøkonomisk diskonteringsrate	61
6.2 Følsomhedsberegning: Brændselspriser og CO <sub>2</sub> -kvotepriser	62
6.3 Følsomhedsberegning: vindmøllepriser	64
6.4 Opsamling	66
<b>7. Øvrige fordele og omkostninger ved vindkraftudbygning</b>	<b>67</b>
7.1 Miljøfordele	67
7.2 Øvrige fordele	71
7.3 Øvrige omkostninger	72
<b>Del III Barrierer og virkemidler</b>	<b>75</b>
<b>8. Barrierer og virkemidler</b>	<b>77</b>
8.1 Aktøranalyse	77

8.2 Barrierer: Hvorfor er vindkraftudbygningen gået i stå?	81
8.3 Styringsmidler til at fremme vindkraft	86
<b>9. Konklusion</b>	<b>95</b>
<b>Tak til</b>	<b>99</b>
<b>Litteraturliste</b>	<b>101</b>
<b>Bilag 1: deltagere i IMV's interviewundersøgelse</b>	<b>105</b>
<b>Tidligere IMV rapporter</b>	<b>106</b>

## Resume

Denne rapport er udarbejdet for at medvirke til et forbedret beslutningsgrundlag for energipolitiske beslutninger, herunder især Danmarks mål for vedvarende energi og vindkraft. Rapporten giver et bud på, hvor store de samfundsøkonomiske omkostninger er ved en udbygning af dansk vindkraft til henholdsvis 30, 40 og 50 % af el-forbruget i 2025. Rapporten analyserer desuden barrierer og virkemidler for udbygning af dansk vindkraft.

Hovedanalysen er en samfundsøkonomisk omkostningsanalyse, der bl.a. indeholder omkostninger til investeringer, infrastruktur og skatteforvridningstab.

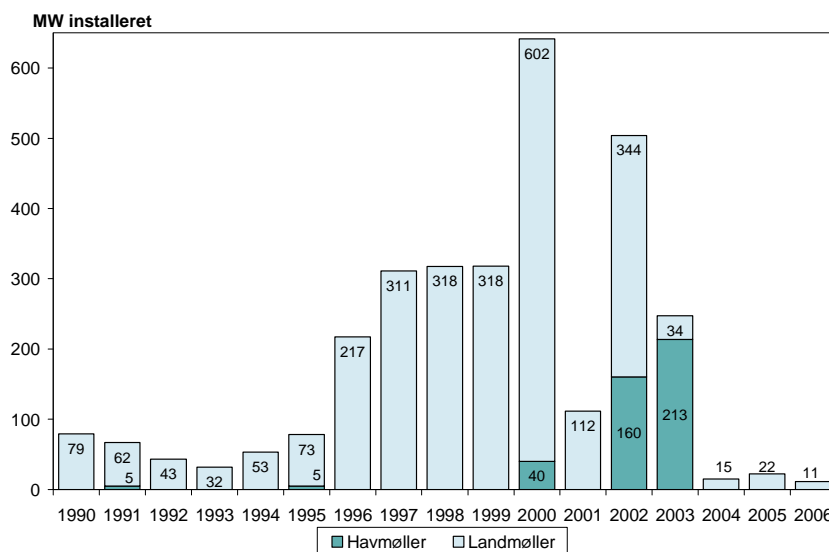
Rapporten er blevet til med bidrag fra EA Energianalyse A/S, som har udarbejdet en omfattende analyse af aktørerne i el-markedet og omkostningerne til infrastrukturen på området (Ea Energianalyse 2007c). Derudover har Jesper Munksgaard, AKF, bidraget med ekspertstøtte.

### Baggrund

De nuværende og kommende mål om at reducere udledningen af drivhusgasser har givet øget fokus på vedvarende energi og vindkraft som et middel til at opnå målene. EU har et mål om at 20 % af EU's energibehov skal dækkes af vedvarende energi i 2020 (Europakommissionen 2007), og i Regeringens energiudspil (Regeringen 2007) er målet 30 % vedvarende energi af det totale energiforbrug i 2025. Det hedder i udspillet, at et skridt på vejen mod 30 % vedvarende energi af det totale energiforbrug eksempelvis ville kunne ske med en udbygning af vindkraften, så den dækker omkring 50 % af det danske el-forbrug.

Opsætningen af vindmøller i Danmark er stagneret i perioden 2004-2006 med en nettotilvækst på omkring 20 MW om året, jf. figur 1. Det er derfor et væsentligt spørgsmål, hvilke tiltag der i givet fald er nødvendige for at få opfyldt målsætningerne. Det er ligeledes et væsentligt spørgsmål, hvad de samfundsøkonomiske konsekvenser er, af en udbygning fra de nuværende 23 % af el-forbruget.

**Figur 1 Installeret ny vindenergi kapacitet i Danmark (1990-2006)**



Kilder: Baseret på (Danmarks Vindmølleforening 2006; Energistyrelsen 2007)

### Omkostningsanalyse af udbygget vindkraft

I denne rapport analyseres de væsentligste samfundsøkonomiske omkostninger ved udbygningen af dansk vindkraft til hhv. 30, 40 og 50 procent af det danske elforbrug i 2025. Derudover beregnes de væsentligste miljøfordele ved en udbygning, suppleret med en beskrivelse af øvrige mulige fordele. Analysen i denne rapport er dermed ikke en komplet samfundsøkonomisk opgørelse af fordele og ulemper ved vindkraftudbygning, men først og fremmest en konsekvensberegning af de potentielle omkostninger ved udbygningen af vindkraft.

Som tillæg til omkostningsanalysen har vi i rapporten analyseret barrierer for udbygningen af dansk vindkraft med fokus på finansielle barrierer. Derudover diskuterer rapporten fordele og ulemper ved eksisterende virkemidler til at fremme udbygningen.

### Ny viden i denne rapport

Som noget nyt i sammenligning med eksisterende samfundsøkonomiske analyser af vindkraft i Danmark bidrager denne analyse med analyse af:

- de enkelte aktørers investeringsadfærd og de samfundsøkonomiske konsekvenser heraf
- det danske el-marked som en del af et større nordisk el-marked
- omkostninger forbundet med udbygning af el-infrastruktur, der er nødvendig i forhold til vindkraft-udbygning



- det samfundsøkonomiske skatteforvridningstab ved det nødvendige støttesystem for udbygningen af vindkraften.
- en sammenligning af de samfundsøkonomiske omkostninger ved at nå flere forskellige mål for vindkraftandelen

Dermed kan man analysere og konkludere på forskelle imellem de enkelte aktørers adfærd på markedet og de samfundsøkonomiske konsekvenser heraf. Ydermere kan man identificere hvilket støttebehov der er nødvendigt for at nå forskellige mål.

### **Begrænsninger ved analysen**

Den centrale analyse bygger på en simulering af aktørernes adfærd på det nordiske el-marked (i el-markedsmodellen Balmorel). Vi har dermed taget højde for dynamiske effekter i el-markedet. Dog indgår mere overordnede makroøkonomiske effekter (eksempelvis beskæftigelse, eksport og effekter på øvrige sektorer i økonomien) ikke i større omfang. Fx er skatteforvridning estimeret ud fra en standardantagelse om en skatteforvridningsfaktor på 20 %.

I modelsimuleringen er det nødvendigt at foretage valg om forudsætninger og afgrænsninger, som influerer på resultatet af den samfundsøkonomiske omkostningsanalyse. Betydningen af en række af disse forudsætninger og antagelser er analyseret ved hjælp af følsomhedsanalyser.

### **Hovedresultater**

Rapportens resultat gengives i det følgende i kort form. For en mere detaljeret baggrund for resultaterne, herunder de væsentligste antagelser og forudsætninger henvises til selve rapporten.

#### **Øget udbygning kan nås med lille stigning i støtten**

- Det nuværende støtteniveau på ca. 12 øre/kWh bør alt andet lige være tilstrækkeligt til at 40 % af det danske el-forbrug dækkes af vindkraft i 2025.
- Regeringens målsætning om at nå ca. 50 % af el-forbruget fra vindkraft i 2025 kan formentlig nås med støtte på 9-18 øre/kWh, hvilket ikke er væsentligt forskelligt fra det nuværende støtteniveau på ca. 12 øre/kWh til landvindmøller og de ca. 18 øre/kWh som svarer til støtteniveauet på de planlagte havvindmøller.

#### **Stagneret udbygning skyldes ikke kun manglende støtte**

- Den aktuelle stagnering i udbygning med vindkraft i Danmark kan ikke kun forklares med manglende støtte (udover de nuværende ca. 12 øre/kWh), men skyldes måske i højere grad bedre alternative investe-

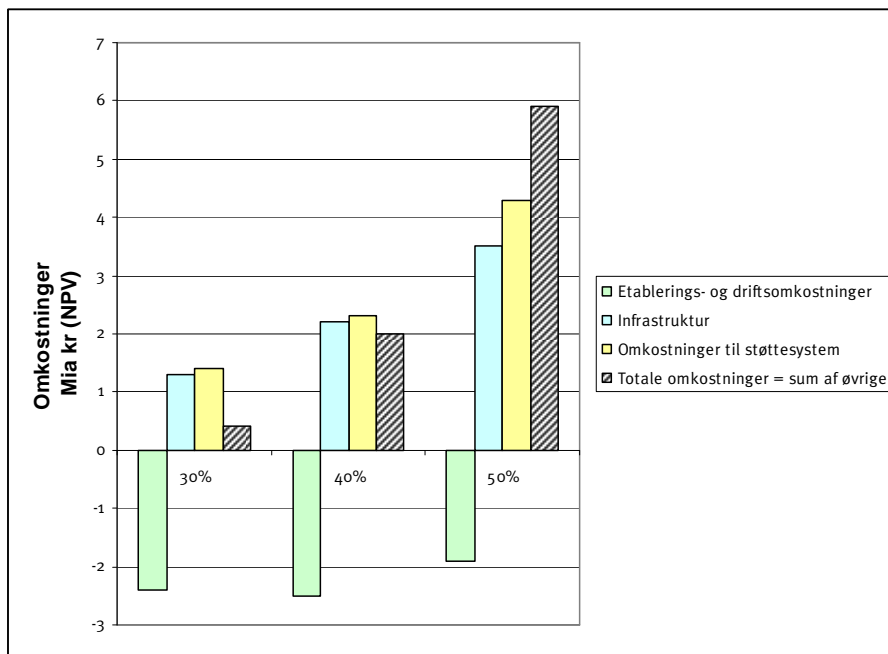
ringsmuligheder i vore nabolande med bedre støtteordninger, midlertidigt høje priser på vindmøller, administrative barrierer og evt. strategisk investador-adfærd,

- Man kan dog ikke forvente investeringer i vindkraft i Danmark indtil 2025 uden støtte.

**De samlede omkostninger stiger med andelen af vind**

- De samfundsøkonomiske omkostninger ved en udbygning på 50 % af elforbruget fra vindkraft er beregnet til ca. 5,9 mia. kr. (nutidsværdi i 2006 priser ved 3 % diskontering). Heri er der ikke medregnet miljøfordele og øvrige fordele ved vindkraften.
- Ved en udbygning på i stedet 30 og 40 % forventes de samfundsøkonomiske omkostninger at være henholdsvis ca. 0,3 og 1,9 mia. kr.
- Stigningen i omkostningerne ved højere mål for vindkraftens andel af elforbruget skyldes primært samfundsøkonomiske omkostninger til støttesystem (skatteforvridning) samt omkostninger til ændring af den danske el-infrastruktur, så de større mængder vindkraft kan håndteres.

Figur 2 Samfundsøkonomiske omkostninger ved henholdsvis 30, 40 og 50 % vindkraft



Beregningsforudsætninger: 3 % diskontering, CO<sub>2</sub>-kvotepris på 150 kr./ ton, oliepris på 50 US\$/tønde, privat afkastkrav på 12 % og vindmøllepriser falder over tid.

### **Miljøfordelene modsvarer omkostninger ved 30% og 40%**

Udbygning til 30, 40 og 50 % giver miljøfordele i størrelsesorden mellem 0,5 til 2,9 mia. kr. Et mål på 30 % af el-forbruget fra vindkraft kan, selv uden at øvrige mulige fordele inddrages, forventes at give samfundsøkonomisk overskud på mellem 0,1 og 0,9 mia. kr. Resultatet ændrer sig for et 40 og 50 % vindkraftmål. For en udbygning til 50 % modsvarer de samfundsøkonomiske omkostninger på 5,9 mia. kr. af miljøfordele på 1,0 til 2,9 mia. kr., mens de samfundsøkonomiske konsekvenser af en udbygning til 40 % bliver i størrelsesordenen 1,2 mia. kr. (omkostning) til en fordel på 0,1 mia. kr. (nutidsværdi i 2006 priser ved 3 % diskontering). Her er det dog vigtigt at understrege, at analysen ikke kigger på samtlige mulige fordele ved vindkraftudbygning.

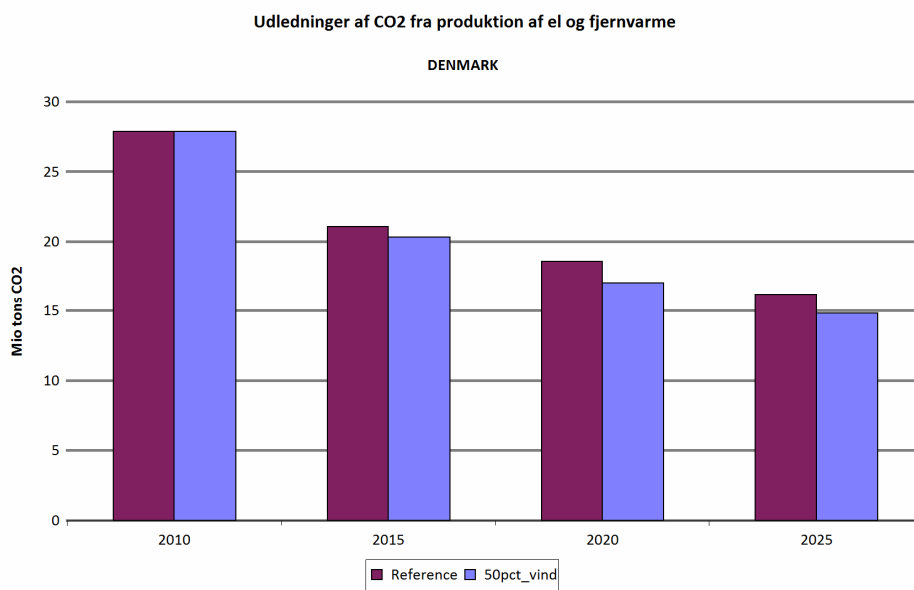
### **Store miljøfordele i nabolande**

Vindkraftudbygningen har ikke kun konsekvenser for SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> udledningen i Danmark. SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> fordelene i vores nabolande som en konsekvens af den danske udbygning med vind beløber sig til omkring 6-17 mia. kr. (NV) i 50% scenariet mod omkostninger på 6 mia. kr. Dvs. miljøfordelene overstiger omkostningerne i en nordisk afgrænsning af samfundsøkonomien.

### **CO<sub>2</sub>-reduktion eksporteres til nabolande**

Et af hovedformålene ved at dække 50 % af el-forbruget med vindkraft i 2025 er at opfylde Danmarks internationale forpligtelser til at nedbringe CO<sub>2</sub>-udslippet. Beregningerne i denne rapport viser dog, at man kun kan forvente et begrænset bidrag til opfyldelse af CO<sub>2</sub>-reduktionsmål ved udbygning med dansk vindkraft. Dette skyldes, at Danmark forventes at blive eksportør af el ved indfasning af store mængder vindkraft i det danske el-system. Danmark eksporterer så at sige CO<sub>2</sub>-gevinsten til andre lande i det nordiske el-marked. Den væsentligt større mængde vindkraft i systemet i 50 % scenariet forventes at medføre en dansk CO<sub>2</sub> reduktion på 1,4 millioner tons (i forhold til reference scenariet). Den samlede nordiske CO<sub>2</sub> reduktion forventes at blive ca. 4 gange højere end den danske.

**Figur 3** Beregnet CO<sub>2</sub>-udslip fra el- og fjernvarmeproduktionen i Danmark med og uden 50% el fra vind.



Kilde: Ea Energianalyse (2007c)

### Lille stigning i el-prisen

Betydningen for danskernes el-regning i 2025 af en udbygning af vindkraften til 50 % af el-forbruget forventes at blive ca. 3,3 øre/kWh. Dette svarer til, at en gennemsnitlig husstand (forbrug: 4.000 kWh) får en merudgift på 130 kr. om året i 2025 (faste priser, 2006). For 30 og 40 % udbygningen bliver effekten henholdsvis 2,3 og 2,1 øre/kWh svarende til henholdsvis 92 og 84 kr. per husstand i 2025.

### Usikkerheder

Der er i analysen foretaget følsomhedsberegninger på en række af de centrale forudsætninger i analysen. Disse viser en relativ lille effekt af en ændret diskonteringsrate (fra 3 til 6%). Resultaterne i den nordiske afgrænsning af omkostninger og gevinster er dog følsom overfor valg af diskonteringsrate. Endvidere er resultaterne følsomme overfor alternative forudsætninger om brændsels- og CO<sub>2</sub>-kvotepriser samt prisudviklingen på vindmøller.

## Summary

This report was prepared in order to inform the basis for making energy policy decisions, particularly in with respect to Denmark's goals for renewable energy and wind power. The report estimates the socio-economic costs of expanding Danish wind power to a share of 30, 40 and 50%, respectively, of the electricity consumption by 2025. The report also analyses barriers to and instruments for the expansion of Danish wind power.

The main analysis is a socio-economic cost analysis which includes, among other factors, costs of investments, infrastructure and tax distortion losses.

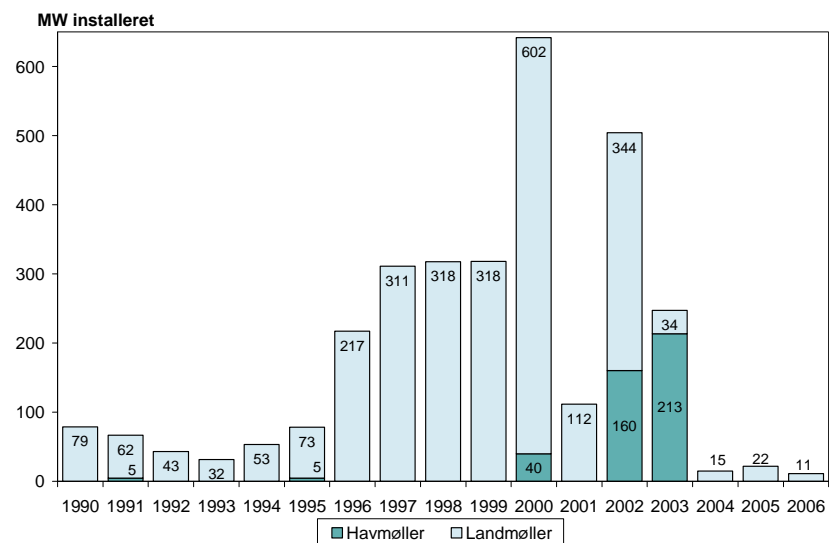
The report includes contributions from EA Energianalyse A/S that has prepared a comprehensive analysis of the actors on the electricity market and the costs of the infrastructure in the area. Jesper Munksgaard, AKF, has also contributed expert assistance.

### Background

The existing and future goals set for reduction of greenhouse gas emissions has increased the focus on renewable energy and wind power as a means to achieve the goals. The EU aims for 20% of the EU energy requirements to be met from renewable sources by 2020 (European Commission 2007), and the goal in the Danish Government's energy initiative (Government 2007) is that renewable energy should account for 30% of the total energy consumption by 2025. The initiative argues that a step towards reaching a level of renewable energy of 30% of the total energy consumption could, for instance, be an expansion of wind power in order for it to cover some 50% of the Danish electricity consumption.

The establishment of wind turbines in Denmark stagnated in the period 2004-2006 with a net growth of approx. 20 MW a year, cf. figure 1. Therefore, identification of the measures that will be necessary for realising the objectives remains an important issue. Another, similarly important, issue is what the socio-economic consequences will be of an expansion from the current 23% of electricity consumption.

**Figure 1 New wind energy capacity installed in Denmark (1990-2006)**



Havmøller = Offshore turbines. Landmøller = Land turbines

Sources: (Danmarks Vindmølleforening 2006; Energistyrelsen 2007)

### Cost analysis of deployed wind power

This report analyses the most significant socio-economic costs of expanding Danish wind power to 30, 40 and 50 percent, respectively, of the Danish electricity consumption by 2025. In addition, the most essential environmental benefits of expansion are calculated, supplemented by a description of other possible benefits. The analysis in this report does consequently not embody a complete socio-economic statement of pros and cons of wind power expansion, but primarily an impact analysis of the potential costs of wind power expansion.

As a supplement to the cost analysis, we have analysed barriers to the expansion of Danish wind power in the report, with focus on financial barriers. The report also discusses pros and cons of existing instruments for promoting expansion.

### New knowledge in this report

As a new feature compared to existing socio-economic analyses of wind power in Denmark, this analysis contributes with analysing:

- the investment behaviours of the individual actors and the related socio-economic consequences;
- the Danish electricity market as a part of a larger Nordic electricity market;
- costs related to the necessary expansion of electricity infrastructure in relation to wind power expansion;
- the socio-economic tax distortion loss suffered through the necessary support system for the wind power expansion;

- a comparison of the socio-economic costs of reaching several different goals for the share of wind power.

This facilitates an analysis and conclusion on differences between the behaviours of individual actors in the market and the related socio-economic consequences. Furthermore, it becomes possible to identify the support level required to reach different goals.

### **Limits to the analysis**

The central analysis is based on a simulation of the actors' behaviours in the Nordic electricity market (in the Balmorel electricity market model). Thereby, we have taken dynamic effects in the electricity market into account. More overall, macro-economic impacts (for instance employment, export and effects on other sectors in the economy) are not, however, included to any major extent. Tax distortion, for instance, is estimated based on a standard assumption of a tax distortion factor of 20%.

In the model simulation, it is necessary to make choices of presumptions and delimitations which affect the result of the socio-economic cost analysis. The impact of a number of these presumptions and assumptions have been analysed by means of sensitivity analyses.

### **Main results**

The results of the report are presented briefly in the following. Please see the actual report for a more detailed background for the results, including the most important assumptions and presumptions.

#### **Increased expansion is possible with small rise in support**

- The current support level of approx. DKK 0.12/kWh should, *ceteris paribus*, be sufficient for wind power to cover 40% of the Danish electricity consumption by 2025.
- The government's objective of reaching a wind power share of approx. 50% of the electricity consumption by 2025 may well be fulfilled at support levels from DKK 0.09 – 0.18/kWh, which is not materially different from the current support level of approx. DKK 0.12/kWh for land turbines and approx. DKK 0.18/kWh which corresponds to the support level for the planned offshore turbines.

#### **Stalled expansion not only due to lack of support**

- The current stagnant wind power expansion in Denmark cannot be explained by lack of support alone (in addition to the current approx. DKK 0.12/kWh), but may to a greater extent be attributable to better alterna-

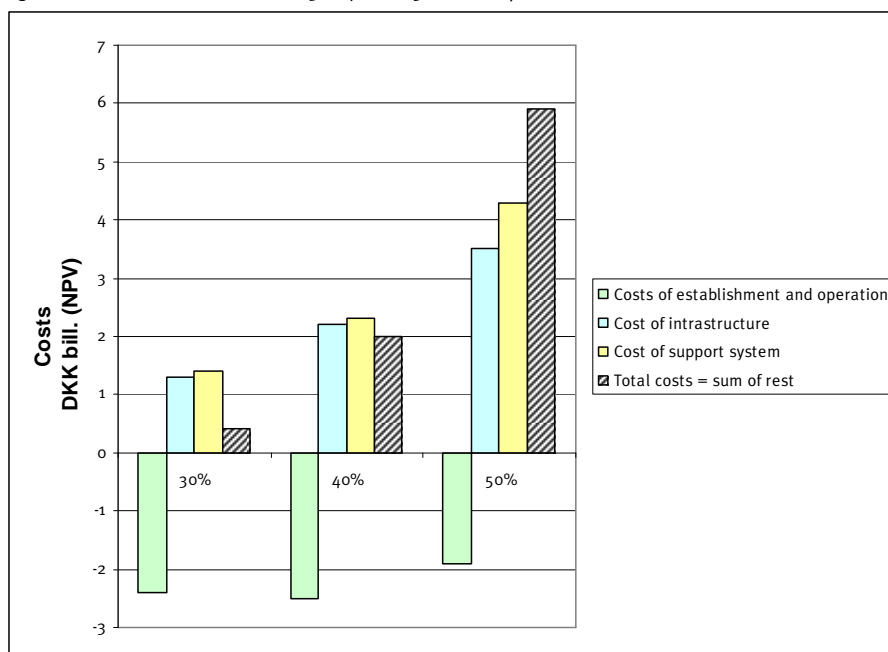
tive investment opportunities in our neighbouring countries with better support schemes, temporarily high wind turbine prices, administrative barriers and possibly strategic investor behaviour.

- However, wind power investments in Denmark without support cannot be expected until 2025.

### Overall costs rise with the share of wind power

- The socio-economic costs of expanding electricity consumption from wind power to 50% are calculated to make up approx. DKK 5.9 billion (present value in 2006 prices with 3% discounting). This does not include environmental benefits and other advantages of wind power.
- In case of expansion to 30 and 40% instead, the respective socio-economic costs are expected to be approx. DKK 0.3 and 1.9 billion.
- The cost increase for higher targets for the wind power share of the electricity consumption is primarily attributable to socio-economic costs of the support scheme (tax distortion) and costs of changing the Danish electricity infrastructure so as to allow for handling of the larger amounts of wind power.

Figure 2 Socio-economic costs of 30, 40 and 50% wind power



Calculation assumptions: 3% discounting, CO2 quota price of DKK 150/tonne, oil price of USD 50/barrel, private return on investment requirements of 12% and decreasing wind turbine prices over time.



### **The environmental benefits match the costs at 30 and 40%.**

An expansion to 30, 40 and 50% will give environmental benefits of between DKK 0.5 and 2.9 billion. A target for 30% of the electricity consumption to derive from wind power may, even without including other possible benefits, be expected to give a socio-economic surplus of between DKK 0.1 and 0.9 billion. The result will be different for wind power targets of 40% and 50%. For an expansion to 50%, the socio-economic costs of DKK 5.9 billion are counterbalanced by environmental benefits of DKK 1.0 to 2.9 billion, whereas the socio-economic consequences of an expansion to 40% will be around DKK 1.2 billion (cost) for a benefit of DKK 0.1 billion (present value in 2006 prices and 3% discounting). However, in this context it is important to emphasise that the analysis does not look at all possible benefits of wind power expansion.

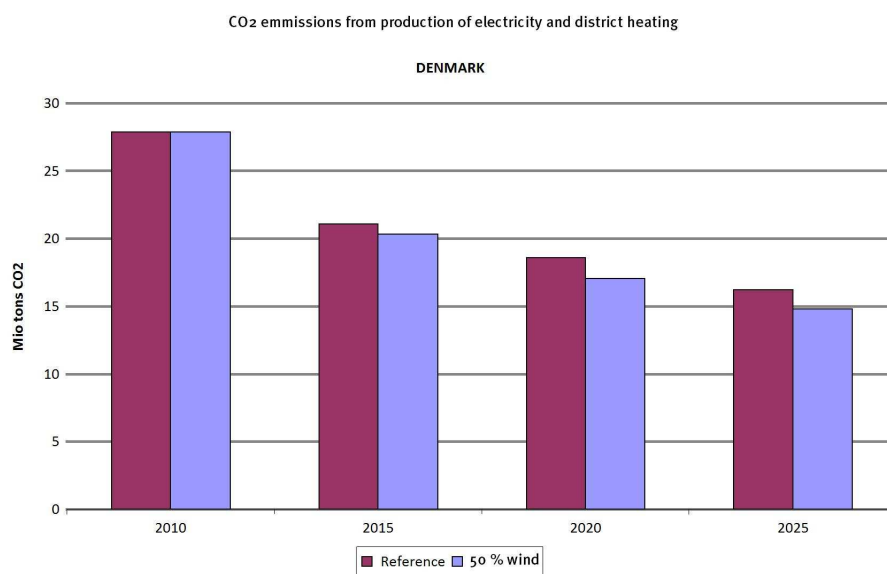
### **Great environmental benefits in neighbouring countries**

Wind power expansion will not only affect SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions in Denmark. The SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> benefits in our neighbouring countries that will arise as a result of increased Danish wind power deployment amounts to around DKK 6-17 billion (NV) in the 50% scenario against costs of DKK 6 billion. This means that the environmental benefits exceed the costs in a Nordic socio-economic delimitation.

### **CO<sub>2</sub> reduction exported to neighbouring countries**

One of the primary objectives of covering 50% of the electricity consumption with wind power by 2025 is to satisfy Denmark's international commitment to reduce CO<sub>2</sub> emissions. The calculations in this report show, however, that only a limited contribution to satisfying CO<sub>2</sub> reduction targets can be expected from an expansion of Danish wind power. The reason is that Denmark is expected to export electricity when large amounts of wind power are phased into the Danish electricity system. Put differently, Denmark exports the CO<sub>2</sub> gain to other countries in the Nordic electricity market. The significantly larger amount of wind power in the system in the 50% scenario is expected to result in a Danish CO<sub>2</sub> reduction of 1.4 million tonnes (compared to the reference scenario). The aggregate Nordic CO<sub>2</sub> reduction is expected to be about four times higher than the Danish one.

**Figure 3 Calculated CO<sub>2</sub> emissions from electricity and district heating production in Denmark with and without 50% wind power-generated electricity**



**Small increase in price of electricity**

The effect on the Danes' electricity bill in 2025 of an expansion of wind power to 50% of the electricity consumption is expected to be approx. DKK 0.033/kWh. This corresponds to an annual additional expense for an average household (consumption: 4,000 MW) of DKK 130 in 2025 (fixed prices, 2006). For the 30 and 40% expansion, the effect will be DKK 0.023 and 0.021/kWh, respectively, corresponding to DKK 92 and 84 per household in 2025.

**Uncertainties**

Sensitivity calculations have been made for a number of the key presumptions of the analysis. The calculations show that a changed discount rate has a comparatively small effect (from 3 to 6%), except in the Nordic delimitation. The results are sensitive to alternative presumptions about fuel and CO<sub>2</sub> quota prices and price developments for wind turbines.

## 1. Introduktion og formål

Den politiske fokus på vindkraft er skærpet i løbet af 2006 og første halvår af 2007. Der ser ud til at være politisk enighed om, at der skal gang i vindmølleudbygningen i Danmark igen. Udviklingen fra 2004 og frem til i dag, hvor opsætningen af ny vindkraftskapacitet stort set er gået i stå, skal vendes. Det er budskabet i både Regeringens og Socialdemokraternes energiudspil (Regeringen 2007; Socialdemokraterne 2006).

Motivationen for udbygningen skal delvist findes i et overordnet mål om at øge andelen af vedvarende energi i det danske bruttoenergiforbrug.

Der er altså et politisk ønske om at øge produktionen af el fra vindmøller i det danske el-system, så den dækker mere end de nuværende ca. 19 % af det danske el-forbrug. Regeringen giver et eksempel på en fordobling af den nuværende vindmøllekapacitet på godt 3.000 MW frem mod 2025 i sit energiudspil, mens Socialdemokraterne har spillet ud med en udbygning på 4.000 MW indenfor de næste ti år, jf. Boks 1-1.

### Boks 1-1 Tre udvalgte mål for dansk vindkraft

Et mål om at vindkraft skal udgøre 50 % af el-forbruget i 2025 kræver ifølge vores beregninger en forøgelse af vindkraftkapaciteten fra ca. 3.100 MW til ca. 6.400 MW (3.500 MW på land og 2.900 MW på havet), (Ea Energianalyse 2007c).

Regeringens energiudspil **"En visionær dansk energipolitik"**: Der opstilles et mål på 30 % vedvarende energi for hele energiforbruget i 2025. Væsentlige bidrag kunne komme fra en fordobling af vindmøllekapaciteten fra ca. 3.100 MW til ca. 6.100 MW (3.600 MW på land og 2.500 MW på havet). Dette svarer således til knap 50 % af det danske el-forbrug i 2025.

Socialdemokraternes energiplan **"Energi"**: udbygning af 3.000 MW havvindmøller og 1.000 MW vindmøller på land de næste ti år, dvs. indtil 2017. Målet er, at den samlede kapacitet i 2017 skal være ca. 7.100 MW (3.700 MW på land og 3.400 MW på havet). Dette svarer til omkring 60 % af el-forbruget allerede i 2017.

Vindmølleindustriens **"50 pct. Vindkraft – et paradigmeskifte i dansk energiforsyning"**: opstilling af vindmøller så den samlede kapacitet er ca. 6.000 MW i 2025 (3.500 MW på land og 2.500 MW på havet). Dette er i samme størrelse som regerings energiudspil og svarer således ikke helt til 50 % af el-forbruget (kan skyldes forskellige forudsætninger om antallet af fuldlasttimer på henholdsvis land og hav).

## 1.1 Formål

Formålet med dette projekt er, at undersøge de samfundsøkonomiske konsekvenser af udbygningen til 30, 40 og 50 % vindkraft. Analysen i denne rapport kan bedst betegnes som en samfundsøkonomisk omkostningsanalyse af at nå disse tre udbygningsmål for dansk vindkraft. Analysen er suppleret med et overslag over miljøfordelene ved vindkraftmålene samt skatteforvridningstabet ved det nødvendige støttesystem. Formålet med denne rapport er derfor at:

- Estimere de samfundsøkonomiske omkostninger ved udbygning af vindkraft for vindkraftsmål på henholdsvis 30, 40 og 50 % af el-forbruget.<sup>1</sup> Omkostningerne inkluderer omkostninger relateret til investeringsforløbet, el-infrastrukturomkostninger samt skatteforvridningstabet ved et evt. støttesystem.
- Give et overslag over miljøfordelene i de tre scenarier for udbygning med vindkraft
- Analysere og diskutere barrierer for vindkraftudbygningen samt generelt diskutere hvilke økonomiske styringsmidler, der giver den mest omkostningseffektive udbygning

## 1.2 Beregningsmetode i dette studie

I dette afsnit beskrives, hvordan forskellen i den samfundsøkonomiske evaluering af aktørernes adfærd i el-sektoren estimeres. Dette svarer til punkt 1 i boks 4.1. Beregningsmetoden for punkt 2, 3 og 4 præsenteres i forbindelse med analysen i kapitel 5 og 7.

I analysen af aktørernes adfærd evalueres forskellen mellem to overordnede forløb:

1. Referencescenariet: I perioden 2008-2025 investerer aktørerne på det nordiske el-marked på markedsvilkår. Der er ikke støtte til nogen former for el-produktionsteknologi, heller ikke til vind.<sup>2</sup>
2. Der køres tre forskellige scenarieløbsløb: 30, 40 og 50 % vindkraftscenariene. I perioden 2008-2025 investeres der i el-markedet på markedsvilkår, men med den restriktion, at el fra vindmøller i Danmark skal dække, hvad der svarer til henholdsvis 30, 40 og 50 % af det danske el-forbrug i 2025.

---

<sup>1</sup>De 30, 40 og 50 % er altså mål for el-produktion fra vindkraft i forhold til det danske el-forbrug i 2025. Ikke i forhold til det samlede danske energiforbrug.

<sup>2</sup> Dog er biomasse afgiftsfritaget i varmesektoren (se afsnit 5.4)

**Boks 1-2 Begrebsafklaring: kapacitet, forbrug og produktion****Bruttoenergiforbrug og el-forbrug**

El-forbruget udgør en del af bruttoenergiforbruget, som er det samlede energiforbrug i alle sektorer. Bruttoenergiforbruget udgør 850 PJ mens el-forbruget svarer til 130 PJ.

I Danmark dækker vedvarende energi i dag 130 PJ svarende til 15 % af bruttoenergiforbruget (Energistyrelsen 2006).

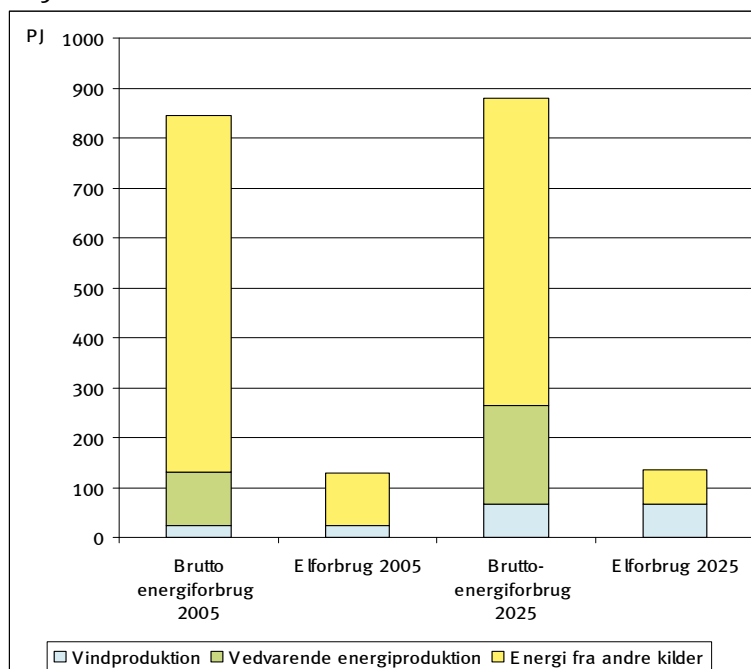
**El-kapacitet, el-produktion og el-forbrug**

Vindkraft kan opgøres som kapacitet (som måles i effektenheden Watt, W) eller som produktion (som måles i energienheden Wh eller J). Bemærk at en opgørelse af vindkraftkapaciteten i forhold til den samlede kraftkapacitet ofte resulterer i en højere vindandel end en opgørelse, hvor produktionen af el fra vindmøller sættes i forhold til den samlede produktion af el. Dette skyldes, at de danske kraftværker i gennemsnit kører med en effekt, der er tættere på deres samlede kapacitet, end især vindmøllerne på land gør (havvindmøller har flere fuldlasttimer end landvindmøller). I 2005 udgjorde den danske vindmøllekapacitet 23,5 % af den samlede danske kraftkapacitet, mens produktionsandelen kun var 19,2 %. Andelen af el-produktion fra vindmøller i forhold til el-forbruget var derimod kun 18,5 % i 2005 pga. nettoimport af el til Danmark i 2005 (Ea Energianalyse 2007a; Ea Energianalyse 2007c; Energistyrelsen 2006).

Simuleringen af adfærd sker i el-markedsmodellen, Balmorel. Resultatet af referencørslen viser, hvilket investeringsforløb, der er privatøkonomisk mest fordelagtigt. Efterfølgende evalueres vindkraftsscenerierne med udgangspunkt i forskellen i de samfundsøkonomiske omkostninger mellem referencescenariet og det enkelte vindkraftsscenario. Heri er ikke inkluderet en række omkostninger til infrastruktur.

Den store styrke ved at beregne forskellen i den samfundsøkonomiske omkostning mellem de to investeringsforløb i en markedsmodel er, at der tages højde for dynamikken i markedet, således at investeringsbeslutninger sker på baggrund af el-markedsprisen, mens el-markedspriserne også påvirker investeringsbeslutningerne.

**Figur 1-1 Bruttoenergiforbrug, el-forbrug, vedvarende energi og vindkraftproduktion i 2005 og 2025.**



Kilde: Baseret på (Energistyrelsen 2005b; Energistyrelsen 2006).

### 1.3 Afgrænsning og forudsætninger

Vi analyserer de samfundsøkonomiske konsekvenser af udbygningen til 30, 40 og 50 % vindkraft ved at undersøge tre vindkraftscenarier, hvor udbygningen med vindkraft svarer til en produktion, der dækker henholdsvis 30, 40 og 50 % af det danske el-forbrug i 2025. Der beregnes følsomhedsanalyser på udviklingen i CO<sub>2</sub>-, brændsels- og vindmøllepriser. Derudover beregnes betydningen af en ændret diskonteringsrate.

Det skal bemærkes, at rapportens konklusioner og anbefalinger bør ses i lyset af en række væsentlige begrænsninger. Disse knytter sig til en række afgrænsninger og forudsætninger i beregningerne.

Grundlæggende fokuserer rapporten på de samfundsøkonomiske omkostninger ved udbygningen af vindkraft. De samfundsøkonomiske fordele bliver dog diskuteret – og de miljømæssige fordele søges direkte kvantificeret. Analysen er en 'bottom-up' analyse. Derfor inkluderes de afledte makroøkonomiske effekter ikke direkte (fx gennem ændrede relative priser). Skatteforvridningstabt søges dog kvantificeret.

#### 1.3.1 Konkrete forudsætninger i rapporten

- Investeringer i det nordiske el-marked sker på markedsvilkår, dog investeres der ikke endogent i vindkraft i lande udenfor Danmark. Generelt er

allerede vedtagne beslutninger eller politiske målsætninger indlagt eksogent i el-markedsmodellen. Dette gælder for afviklingen af atomkraft i Tyskland samt en betydelig udbygning med vindkraft i Norge, Sverige og Tyskland.

- Det antages i beregningerne, at den eksisterende kraftværkspark skrottes med 3 % om året (eksogent).
- De relative priser på el-produktion forudsættes kendt i hele perioden.
- Der regnes ikke med teknologispring.
- Investeringer i produktionsanlæg optimeres i modellen ud fra antagelserne om omkostningerne ved forskellige el-produktionsteknologier over tid og med en privat kalkulationsrente på 10 % p.a. af investeringen.
- Tilskud til vindkraft er ikke inkluderet i modellen.
- Vindandelene på hhv. 30, 40 og 50 % opnås ved at indlægge disse som restriktioner i modellen.
- Det er eksogent modelleret at udbygningen af vindenergi sker gradvist til 32 % vindkraft i 2015 og 41 % vindkraft i 2020 inden de 50 % nås i 2025.
- Der er i modelleringen forudsat, at der i Danmark maksimalt kan investeres i 8.000 MW vindkraft. Endvidere er det i modellen antaget, at der maksimalt kan bygges 500 MW ny vindkraft om året i Danmark. Kapacitet er begrænset således at der ikke kan være over 3.500 MW installeret effekt i form af landvindmøller.
- Nordpool er et perfekt marked med fuldkommen konkurrence med mulighed for effektiv handel på tværs af grænserne.
- I beregningerne af infrastrukturomkostningerne antages det, at der kun anvendes jordkabler og ikke luftkabler. Jordkabler er dyrere men mere acceptable i forhold til folkelig opbakning til vindmøller og mindre risikable i storm og orkan.
- Samfundsøkonomisk diskonteringsrate på 3 %. Der beregnes følsomhedsanalyser for en diskonteringsrate på 6 %.
- CO<sub>2</sub>-kvoteprisen er konstant over perioden (150 kr/ton). Der beregnes følsomhedsanalyser på en CO<sub>2</sub>-kvotepris på hhv. 75 og 300 kr./ton

### 1.3.2 Konkrete afgrænsninger i rapporten

- Vi analyserer de samfundsøkonomiske konsekvenser af en vindudbygning. Vi sammenligner ikke vindkraft med andre typer af vedvarende energiformer med henblik på at finde den mest omkostningseffektive metode til at øge andelen af vedvarende energi. Dette er med andre ord ikke en omkostningseffektivitetsanalyse.
- Vi forventer ikke at finde det samfundsmæssige optimale energisystem.
- Vi vurderer kun de samfundsøkonomiske omkostninger forbundet med udbygningen af det energisystem, der udvikles, under forudsætning af at aktørerne opererer på markedsvilkår (i vindkraftscenariet dog med den begrænsning at opnå 50 % el-forbrug fra vindkraft).
- Vi vurderer ikke, hvorvidt det er hensigtsmæssigt at fastsætte bindende mål for vindkraft i Danmark – og diskuterer derfor ikke hvilke omkostninger, der er forbundet med bindende mål i forhold til en mere fleksibel styring.
- Der analyseres ikke på hvilke virkemidler, der skal til for at opnå de fastsatte mål.
- I analysen ses der bort fra strategisk adfærd blandt aktørerne.
- Det ligger uden for rammerne af denne rapport at vurdere det mere konkrete skatteforvridningspotentiale af forskellige typer af beskatning. I analysen anvendes et generelt skatteforvridningstab på 20 %
- Fordele forbundet med vindkraftudbygningen udover miljøeffekterne kvantificeres ikke.

### 1.3.3 Balmorelmodellen

Analysen i denne rapport bygger på en leverance fra Ea Energianalyse "Vindkrafts Systemomkostninger" (Ea Energianalyse 2007c), som er udarbejdet for IMV i perioden januar 2007-juni 2007. Analysen er udført med Balmorel-modellen, som er en partiel ligevægtsmodel, der beskriver et internationalt el- og kraftvarmesystem.

I modellen antages velfungerende el- og varmemarkeder med fuldkommen konkurrence. Derfor antages følgende ligevægte at gælde:

- Marginal nytte svarer til marginale omkostninger i ethvert tidsafsnit og geografisk område.



- Ligevægt i ethvert tidsafsnit mellem de geografiske områder.
- Ligevægt mellem de enkelte tidsafsnit indenfor året.
- Ligevægt mellem el- og varmesiderne.
- Ligevægt mellem kortsigtede og langsigtede marginale produktionsomkostninger.

For at køre modellen er det nødvendigt at give modellen oplysninger om:

- El- og varmeprogner.
- El- og varmeforbrugsprofiler.
- Tekniske og økonomiske karakteristika for produktionsanlæg.
- Afgifter og kvoter.
- Mulighed for transmission af el mellem regioner.
- Vindprofiler.
- Vandkrafttilstrømning.
- Geografisk specifikation, transmissionsforhold mv.

Modellen tillader både endogene og eksogene investeringer. I simuleringen hvor det antages at hhv. 30, 40 og 50 % af el-forbruget skal dækkes af vind, lægges dette ind som en restriktion. Herpå optimerer modellen investeringsbeslutningerne under restriktionen på hhv. 30, 40 og 50 % vindkraft. En simulering resulterer i følgende:

- El- og varmeproduktion.
- El- og varmeforbrug.
- El-transmission.
- Energiforbrug.
- Emissioner.
- Investeringer.
- El-priser.

- Varmepriser.

Balmorel-modellens styrke er, at modellen beskriver et stort geografisk område med højt detaljeringsniveau. En svaghed er, at der i modellen ikke tages højde for usikkerhed, og markedsmagt heller ikke kan håndteres (Ea Energianalyse 2007c).

## 1.4 Rapportens opbygning

Rapportens 9 kapitler inddrages i en introduktion, tre dele og en konklusion.

### Introduktion og formål

I kapitel 1 (dette kapitel) introduceres problemstilling og formål.

#### Del 1: Baggrund

I kapitlerne 2 og 3 gennemgår vi baggrundsviden om den danske vindsektor. I kapitel 2 sammenlignes udviklingen i opsætningen af vindkraft i Danmark med den globale udvikling. Derudover sammenligner vi udviklingen i opsætningen af vindkraft i Danmark med udviklingen i en række andre lande. De udvalgte lande har betydeligt større vækstrater for vindmølleinvesteringerne og er derfor på vej til at indhente den danske udbygning. I kapitel 3 beskrives det danske energisystem og det nordiske el-marked, som Danmark indgår i.

#### Del II: Samfundsøkonomisk analyse af vindkraftudbygning

I kapitel 4 præsenterer vi den samfundsøkonomiske analysetilgang i rapporten. Vi sammenholder vores analysetilgang med, hvad en 'komplet' samfundsøkonomiske analyse ville indeholde. Selve hovedanalysen af de samfundsøkonomiske omkostninger ved vindkraftudbygningen og resultaterne heraf findes i kapitel 5.

Følsomhedsberegninger præsenteres i kapitel 6, mens miljøfordelene samt øvrige omkostninger og fordele opgøres i kapitel 7.

#### Del III: Barrierer og virkemidler

I kapitel 8 diskuteres barrierer og virkemidler for vindkraft. Herunder beskrives aktørerne i den danske vindkraftsektor, og vi analyserer hvilke aktører, der er vindere og tabere i den nuværende afregningsstruktur for dansk vindmøllekraft. Endvidere præsenteres resultaterne fra en analyse af barrierer for vindkraftudbygningen. Analysen er baseret på en interviewundersøgelse blandt en række nøgleaktører indenfor vindkraftsektoren. Vi har spurgt til årsagerne for, at udbygningen med vind i Danmark i realiteten er gået helt i stå siden 2003. Endelig har vi en generel anbefaling til hvilke økonomiske styringsmidler, der mest effektivt sikrer en udbygning af vindkraften.

### Konklusion

Projektet afsluttes i kapitel 9 med en opsamling af hovedresultaterne fra analysen.

## Del I: Baggrund

I del I præsenterer vi rammerne for vindkraftudbygningen. Hvor meget vindkraft er der allerede og hvordan har udviklingen i vindkraftudbygningen været frem til i dag? Og hvordan ser udviklingen ud i andre lande? Desuden skitseres det danske el-system, hvori en evt udbygning af vindkraften vil finde sted.

I del I præsenteres følgende kapitler:

2. Den historiske vindkraftudbygning globalt og i Danmark
3. Det danske og nordiske el-system



## 2. Den historiske vindkraftudbygning globalt og i Danmark

I dette kapitel beskrives den historiske udvikling i installationen af vindkraft. Fokus vil være på den danske udvikling, men den globale udvikling og forløbet i de ti førende vindkraftnationer (målt på samlet kapacitet i det pågældende land) beskrives også.

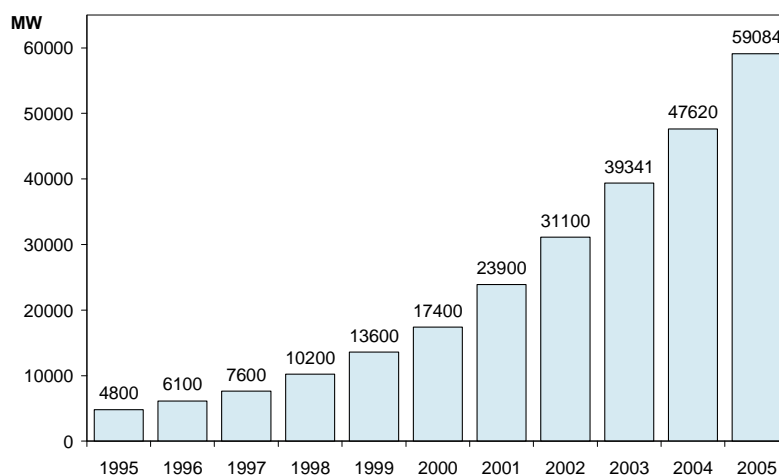
Danmark har stadig den højeste andel af vindenergi på trods af, at udbygningen i Danmark stort set er gået i stå fra og med 2004 og på trods af, at udbygningen har taget fart i mange andre lande.

### 2.1 Udviklingen i global kapacitet

Opsætning af vindmøller i større skala tog for alvor fart i starten af 90'erne. I Figur 2.1 ses den samlede installerede kapacitet på verdensplan i perioden 1995-2005. Det fremgår tydeligt af figuren, at installationen af vindkraft vokser meget hurtigt. Der er tale om en eksponentiel vækst med en fordobling hvert tredje år i perioden. I hele den tiårige periode er den samlede kapacitet forøget med en faktor 12, hvilket svarer til en gennemsnitlig årlig tilvækst på 28 %.

I 2005 var den samlede globale vindkraftkapacitet på 59 GW, hvilket svarer til godt 1 % af den globale el-produktion (Global wind energy council & Greenpeace 2006).

Figur 2.1: Den totale globale vindkraftkapacitet i perioden 1995-2005



Kilde: Global wind energy council (2005).

Note: I 2006 var den globale vindkraftkapacitet steget til 74 MW (Global wind energy council 2007).

Langt størstedelen af den globale kapacitet er opsat som landvindmøller. Hele 99 % af kapaciteten er landbaseret, mens kun 1 % af kapaciteten stammer fra havvindmøller. Danmark er helt i front på havvindmøller med 420 MW installeret

kapacitet, hvilket svarer til omkring halvdelen af den globale havvindmøllekapacitet (Global wind energy council & Greenpeace 2006).

Vil udbygningen fortsætte i samme tempo? Det Internationale Energiagenturs prognose siger, at væksten vil falde, således at den samlede kapacitet vil øges med en faktor 9 i den 26-årige periode fra 2004-2030. Det vil sige, at der forventes en lavere vækst de næste ca. 20-25 år i forhold til væksten de foregående 10 år (International Energy Agency 2006b)

Ikke overraskende giver Global Wind Energy Council (GWEC) et mere optimistisk bud på den fremtidige udvikling i den samlede globale vindmøllekapacitet. GWEC forventer, at kapaciteten øges med en faktor 17 fra 2005 til 2020 svarende til en årlig vækst på 21 % (Global wind energy council 2005). Dette er en anelse lavere end de 28 % om året som sås i perioden 1995-2005. Det forventes endvidere, at havvindmølleudbygningen vil vokse væsentlig mere end udbygningen på land (Global wind energy council & Greenpeace 2006).

## 2.2 Udviklingen i de ti førende lande

Danmark lå på en femteplads blandt verdens førende lande indenfor vindenergi, når man måler på et lands samlede kapacitet i 2005. Danmark havde i 2005 3,1 GW installeret kapacitet, mens Tyskland på førstepladsen havde 18 GW. De ti førende lande havde tilsammen 52 GW i 2005, hvilket svarede til 88 % af den samlede globale kapacitet (Global wind energy council 2005).

Tabel 2.1 Udvikling i vindkraftkapacitet for de ti førende lande i perioden 2001-2005

Land	2001 MW	2002 MW	2003 MW	2004 MW	2005 MW	Vækst 2004-5	Årlig vækst 2001-5	Vindkraftens andel af total indenlandsk kapacitet (2004)
1. Tyskland	8.754	11.994	14.609	16.629	18.428	10,8 %	20,9 %	14 %
2. Spanien	3.337	4.825	6.203	8.263	10.027	21,3 %	31,9 %	12 %
3. USA	4.275	4.685	6.374	6.725	9.149	36,0 %	21,8 %	-
4. Indien	1.502	1.702	2.125	3.000	4.430	47,7 %	31,8 %	-
5. Danmark	2.489	2.889	3.116	3.118	3.122	0,1 %	5,0 %	23 %
6. Italien	682	788	905	1.265	1.717	35,7 %	26,5 %	1,4 %
7. UK	474	552	667	907	1.353	49,2 %	30,6 %	0,42 %
8. Kina	400	468	567	764	1.260	64,9 %	34,4 %	-
9. Holland	486	693	910	1.079	1.219	13,0 %	26,4 %	5,0 %
10. Japan	274	414	687	936	1.078	15,2 %	42,1 %	-
Total top10	22.673	29.010	36.163	42.686	51.783	21,3 %	23,0 %	-

Kilder: Eurostat (2006), Global wind energy council (2005)

Bemærk: I de tre scenarier for vindkraftudbygningen på henholdsvis 30, 40 og 50 %, der analyseres i denne rapport, opgøres produktionen som en andel af el-forbruget. I denne tabel opgøres vindkraftkapaciteten som en andel af den samlede nationale kraftkapacitet.

I perioden 2001-2005 har den årlige vækst været omkring 20-30 % i de fleste lande. I Kina og Japan har den årlige vækst endda været endnu højere. I samme periode havde Danmark en meget lav årlig vækst på kun 5 %.

I perioden 2004-2005 har lande som Kina, Indien og UK meget høje vækstrater på 48-65 %. Man bør være forsigtig med at tolke for meget på procentvise stigninger, da udgangspunktet i absolutte størrelser for mange af landene er meget lavt. For eksempel havde UK i 2004 en samlet kapacitet på knap 1.000 MW, hvilket betyder at udbygningen med en enkelt havvindmøllepark på 200 MW giver en tilvækst på 20 %.

Af Tabel 2.1 fremgår endvidere, at Indien har overtaget Danmarks fjerdeplads i løbet af 2005. En lignende udvikling ses i Holland, der i 2005 ligger nummer 9 efter have ligget på en sjetteplads i 2003. Det faktum, at Danmark ryger ned af listen i Tabel 2.1 er ikke ufordelagtigt set i et større perspektiv. Danmark er et relativt lille land og har dermed en relativt lille kraftsektor (total kraftkapacitet). At Danmark overhales af andre lande er et udtryk for, at der sker en udbygning med vindkraft i store lande som USA, Kina og Indien.

På trods af denne udvikling ligger Danmark stadigvæk nr. 1, når man ser på, hvor stor en andel vindkraftkapaciteten udgør af den samlede indenlandske kraftkapacitet. I Danmark udgjorde denne andel 23 % i 2005, hvilket er væsentligt højere end de andre lande. Tyskland og Spanien følger på en anden og tredjeplads med henholdsvis 14 og 12 % (Eurostat 2006). Dette er interessant, fordi spørgsmålet i denne rapport netop er, hvor meget dyrere vind bliver, når der skal indpasses stadig større andele vind. Der er ikke erfaringer uden for DK som studiet kan trække på fordi Danmark i forvejen har en førerposition.

### 2.3 Udviklingen i Danmark

Langt størstedelen af Danmarks 3,1 GW vindmøllekapacitet er installeret i perioden 1996-2003. I

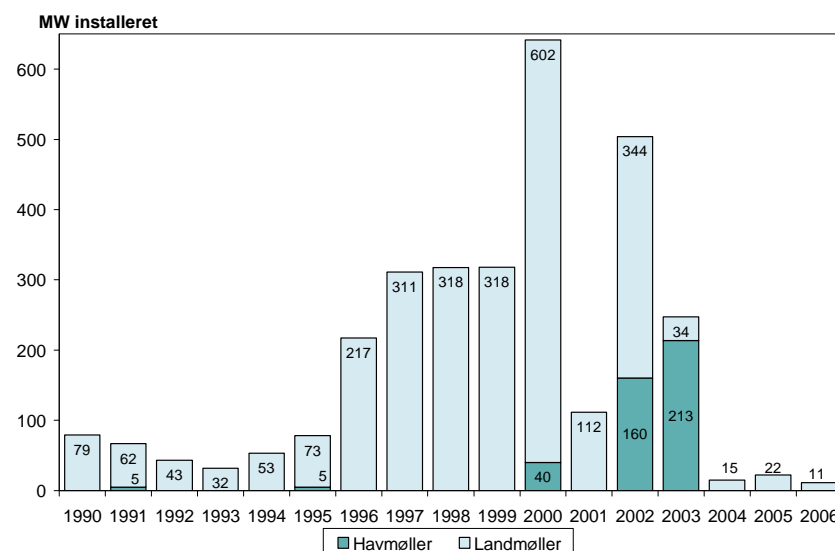
Figur 2.2 fremgår den årlige installation af vindkraft i Danmark i perioden 1990-2006. Det fremgår af figuren, at den årlige vindkraftudbygning faldt eller nærmest stoppede fra 2004 og fremefter.

Figuren viser også fordelingen mellem landbaserede møller og havvindmøller. I 2002 var 1/3 af den installerede kapacitet i form af havvindmøller og i 2003 stod havvindmøllerne næsten for hele den installerede kapacitet det år.

Udviklingen i installeret kapacitet år for år hænger nøje sammen med støtteordningerne for vindmøller de enkelte år. Kort fortalt så faldt prisgarantien (feed-in tariffer) til vindmøllejerne fra 60 øre/kWh til 43 øre/kWh ved årsskiftet 1999 til

2000. Ved årsskiftet fra 2002 til 2003 blev støtteordningen igen ændret, så vindmøllerne fik et pristillæg på 12 øre/kWh oveni markedsprisen. Hvis vi antager en markedspris på 23 øre/kWh, hvilket nogenlunde svarer til den gennemsnitlige el-markedspris i perioden 2003-2005 (Ea Energianalyse 2006), svarer den nye støtteordning til en afregningspris på omkring 35 øre/kWh for landvindmøller.

Figur 2.2 Installeret ny vindenergikapacitet i Danmark (1990-2006)



Kilder: Baseret på (Danmarks Vindmølleforening 2006; Energistyrelsen 2007)

En analyse af barriererne og dermed årsagerne til, at den danske vindkraftudbygning er gået i stå, findes i kapitel 8 i denne rapport.

**Boks 2-1 Tre politiske mål for vindenergi 1976-1996 (Danmarks Vindmølleforening 2002)**

**Dansk energipolitik 1976:** Det fastslås at vindkraft ikke vil kunne bidrage i væsentligt omfang til el-produktionen på denne side af 2000.

**Energi 2000 (fra 1990):** 10 % af el-forbruget i 2000 skal dækkes af vindenergi (samlet kapacitet af vindenergi på 1.500 MW). Den samlede kapacitet i 2000 var på omkring 2.200 MW og dækkede ca. 14 % af el-forbruget.

**Energi 21 (fra 1996):** Forudsætter at de 1500 MW er nået i 2005. Derudover 4.000 MW vindmøller på havet inden 2030. I 2030 vil vindkraft dække 50 % af danskernes energiforbrug. Dette mål ligger tæt op ad de mål, der er meldt ud i de nuværende energiudspil, jf. Boks 1-1 i kapitel 1.

**Energistrategi 2025 (fra 2005):** Ingen fastsatte mål idet udbygningen skal ske på markedsvilkår. Dog gives understøttelse til markedet så det er tilpasset vindkraftens behov i form af bedre transmissionsnet og planlægning af vindkraftområder.

Kilde: (Energiministeriet 1990; Energistyrelsen 2005a; Energistyrelsen 2006; Handelsministeriet 1976; Miljø- og Energiministeriet 1996).



## 2.4 Vurdering af den danske udvikling

Fra massiv udbygning til ingen udbygning. Så kort kan udviklingen i dansk vindkraftudbygning karakteriseres. Om denne udvikling er god eller dårlig kan ikke siges entydigt. I et samfundsøkonomisk perspektiv kan man anskue spørgsmålet på i hvert fald tre måder: "effektivitet" (dvs. om man når målet), "efficiens" (omkostningseffektivitet) og "optimalitet".

- Effektivitet - dvs. om man når målet: I forhold til forhenværende politiske mål. Givet at Danmark har haft diverse mål om at nå forskellige niveauer af vindkraft, jf. Boks 2-1, må man konstatere, at støtteordningerne op gennem 90'erne til fulde har haft den ønskede effekt. Hvorvidt støtteordningerne har været for gavmilde (overnormal forrentning) og at man kunne have nået de samme mål med mindre generøse støtteordninger undersøges ikke i denne rapport. I forhold til fremadrettede mål virker det ikke "effektivt", at udbygningen er stagneret, da målet fra Energi 21 (jf. Boks 2-1) ikke er nået. Udviklingen harmonerer heller ikke med udmeldingerne i Regeringens og Socialdemokraternes energiudspil (jf. Boks 1-1, kap. 1). Der er ikke mål for dansk vindkraft i Energistrategi 2025.
- Samfundsøkonomisk omkostningseffektivitets perspektiv (efficiens). Her i rapporten sammenlignes ikke flere alternativer til at nå samme mål. Dermed vurderes konsekvenserne af at nå et mål på en bestemt måde, jf. partiel cost benefit analyse ovenfor. Dog kan analysen i denne rapport (omkostningerne netto ved at nå 50 % vind) indgå som én byggeklods ift. at nå 30 % VE i Danmark, og dermed være et input til en omkostningseffektivitets-analyse.
- "Optimalitet", dvs. om målet er hensigtsmæssigt i et samfundsøkonomisk cost-benefit perspektiv. Her stilles der spørgsmål ved målet. Var det samfundsøkonomisk optimalt at have et mål på eksempelvis 1500 MW i år 2000 og hvad er det samfundsøkonomisk optimale mål i 2025? Denne rapport er en partiel cost benefit analyse, hvor ikke alle fordele og omkostninger er værdisat.



### 3. Det danske og nordiske el-system

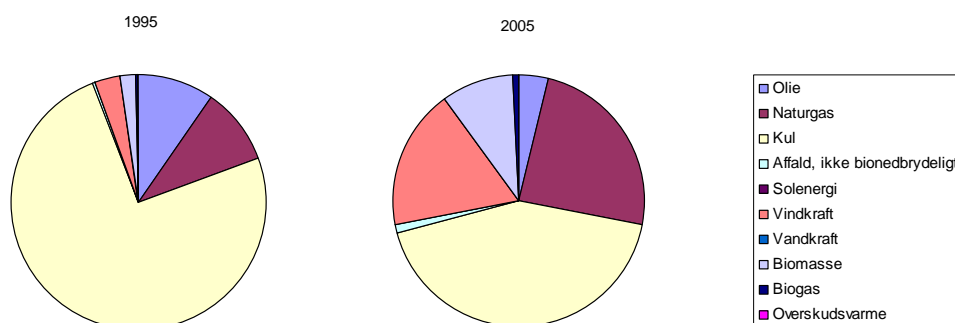
Udbygningen af den danske el-kapacitet med vindmøller skal ses i relation til det eksisterende el-system. I dette kapitel skitseres det danske el-system og Nord-pool, som er det regionale og liberaliserede el-marked, Danmark indgår i. Til sidst præsenteres, hvordan el-markedet integreres i vores analyse.

#### 3.1 Kapacitet, produktion og forbrug.

Den totale el-kapacitet i Danmark er 13,3 GW. Den fordeler sig som følgende: 8 GW centrale værker, 1,5 GW decentrale værker og ca. 3 GW vind<sup>3</sup>. Hidtil har den danske el-produktion stort set været baseret på kulraft, men i takt med det øgede fokus på klimaproblemer, samt et stærkere ønske om selvforsyning, er variationen i brændselsvalget øget. Dette er illustreret i

Figur 3.1, hvor det ses, at 75 % af el-produktionen var baseret på kulraft i 1995. Mens det i 2005 kun var 43 % af el-produktionen, som baseredes på kulraft - vindkraft udgjorde i øvrigt 18 %. Totalt set er vedvarende energi gået fra at dække 5,4 % af el-produktionen i 1995 til at dække 28 % i 2005, mens vind udgjorde 3,2 % 1995.

Figur 3.1 Brændselsforbrug i dansk el-produktion, 1995 og 2005

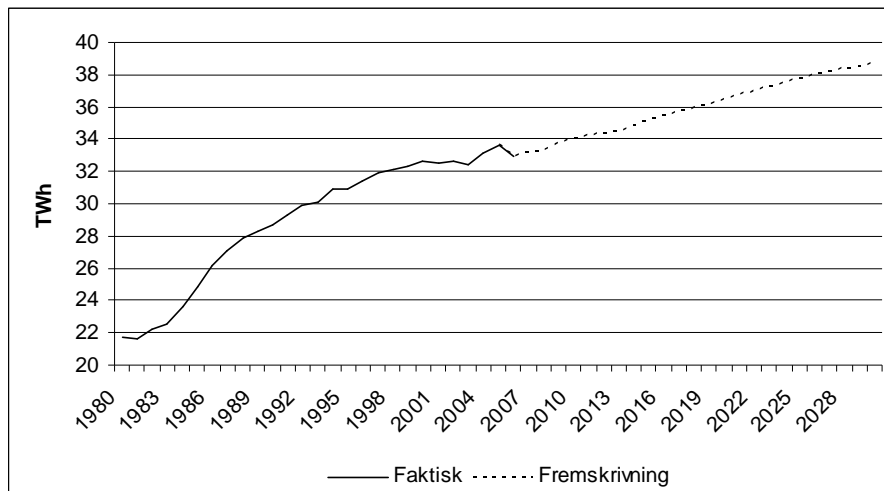


Kilde: (Danish Energy Authority et al. 2005)

Mens det danske bruttoenergiforbrug har været relativt konstant de sidste 30 år (Danish Energy Authority et al. 2005), har el-forbruget været støt stigende (se Figur 3.2). El-forbruget er steget fra ca. 22 TWh i 1980 til ca. 33 TWh i 2005. Dette svarer til en stigning på 50 % over perioden og en årlig gennemsnitlig stigning på 1,6 %.

<sup>3</sup> De resterende 0,8 GW udgøres af private el-producenter, sol- og vandkraft.

Figur 3.2 Udvikling i el-forbruget, 1980-2025



Kilde: (Danish Energy Authority 2005)

I forbindelse med Energistyrelsens Energistrategi 2005 har Energistyrelsen fremskrevet det danske el-forbrug (Figur 3.2). Det forventes at det danske el-forbrug stiger til 37,5 TWh i 2025. Dette svarer til en gennemsnitlig årlig stigning på 0,7 %, altså under den halve vækstrate sammenlignet med de foregående 25 år. Beregningerne i Balmorel-modellen baseres også på denne udvikling i el-forbruget.

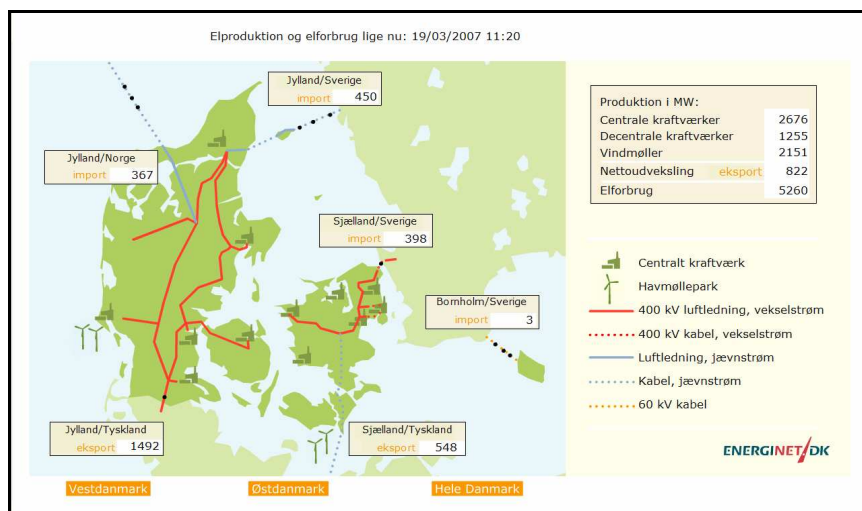
### 3.2 Det Nordiske marked, Nordpool

Danmark er en del af et fælles Nordisk marked, Nordpool, som i dag består af el-producenter, distributører, transmissionsselskaber, industrielle, virksomheder, energiselskaber, el-handelskaber og store el-forbrugere fra Danmark, Norge, Sverige og Finland. Derudover sker der også en udveksling af strøm mellem Danmark og Tyskland. I Figur 3.3 ses et øjebliksbillede af el-udvekslingen mellem Danmark og vores nabolande. Det ses af figuren, at der i det pågældende øjeblik, er en meget stor handel med Tyskland - ca. en tredjedel af produktionen går til Tyskland. Derudover viser figuren, at mere end en tredjedel af produktionen er baseret på vindkraft på netop det tidspunkt.

I Norden handles elektricitet altså på Nordpool. Nordpool består af tre markeder:

- Day-ahead markedet: El-spot. På El-spot handles der kontrakter for fysisk el for den enkelte time i den efterfølgende 24-timers periode.
- Balancemarkedet: El-bas. På El-bas handles der 24 timer i døgnet 7 dage om ugen op til én time før levering.
- Regulerkraftmarkedet. På regulerkraftmarkedet kan der med meget kort varsel justeres på efterspørgselssiden for at sikre, at frekvensen oprettholdes.

Figur 3.3 El-produktion, el-forbrug og udveksling af el mellem Danmark og nabolandene. Snapshot 19. marts 2007 kl. 11.20



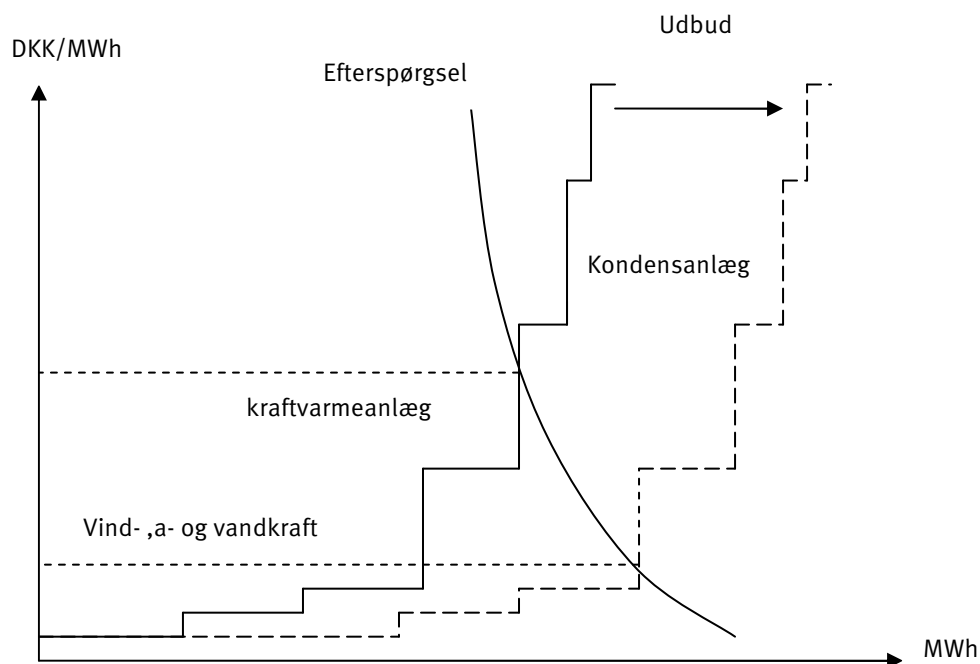
Kilde: (Energinet.dk 2007)

Prisen på El-spot fastsættes i henhold til udbud og efterspørgsel. Efterspørgslen er baseret på et erfaringsmæssigt grundlag. Producenterne byder ind, at de vil producere en given mængde elektricitet til en given pris. Vindkraftproducenterne og a-kraftværkerne byder ind med den laveste pris da de marginale produktionsomkostninger er nul eller tæt på nul. A-kraften producerer mere eller mindre svarende til sin kapacitet. Vindkraft kan ikke lagres, så produktionen vil afhænge af hvor meget det blæser. Da vandkraft i et vist omfang kan lagres, men samtidig har marginale produktionsomkostninger tæt på nul, er vandkraftsproducenterne de næste til at byde ind på markedet. I perioder med meget vindkraft vil el-produktionen fra vandkraft reduceres og gemmes til perioder med mindre vindkraft - således at en bedre pris opnås. Dernæst byder kraftvarmeværkerne ind og til sidst kondensanlæggene (se Figur 3.4).

Hvis det blæser meget, vil vindkraftproducenterne øge udbudet, altså udbyde en større mængde elektricitet til den samme pris. Derved skubbes udbudskurven mod højre, og til en given efterspørgsel vil prisen falde. Hvis der er meget vind på tidspunkter, hvor efterspørgslen er lille, kan der opstå situationer, hvor prisen på elektricitet lokalt bliver lig nul. Da vindmøllejerne får tilskud til den elektricitet, de sælger (ca. 10 øre/kWh), er de villige til at producere og sælge el, også selvom prisen bliver nul eller negativ – så længe de selv får et positivt resultat.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Andre faktorer, der påvirker el-prisen, er nedbørsforholdene i Norge og Sverige, hvor en ringe mængde nedbør fører til højere el-priser pga. et lavere udbud af vandkraft

Figur 3.4 Prisbestemmelse på el-markedet med mere eller mindre vind



Kilde: Morthorst (2007).

### 3.3 Integration af el-system og el-marked i denne rapport

Prisdannelsen på Nordpool sker altså ved, at el-producenterne byder ind med el til varierende priser. Den fremtidige el-pris er således påvirket af fremtidige priser på produktionsfaktorer som eksempelvis kul, gas og investeringsomkostningerne for etablering af en havvindmøllepark, tilsvarende gælder for CO<sub>2</sub>-kvoteprisen, som bliver en reel produktionsomkostning for fossile værker. På den anden side påvirker forventningerne til den fremtidige el-pris på Nordpool også hvor megen og hvilken type el-produktionskapacitet, der investeres i. Man har altså et komplekst samspil, hvor prisen påvirker investeringerne, og investeringerne påvirker priserne. Dette samspil modelleres af Balmorel, som simulerer el-producenternes investeringer og produktion og prisdannelsen på Nordpool.

For en uddybende beskrivelse af Balmorel og forudsætningerne bag, henviser vi til afsnit 1.3.3 og Ea Energianalyse (2007c).

## Del II: Samfundsøkonomisk analyse af vindkraftudbygning

I kapitel 4 præsenterer vi den samfundsøkonomiske analysetilgang i rapporten. Vi sammenholder vores analysetilgang med den komplette samfundsøkonomiske analyse.

Selve hovedanalysen af de samfundsøkonomiske omkostninger ved vindkraftudbygningen og resultaterne heraf findes i kapitel 5.

Følsomhedsberegninger præsenteres i kapitel 6, mens miljøfordelene samt øvrige omkostninger og fordele opgøres i kapitel 7.





## 4. Samfundsøkonomisk analyse i dette studie

I forhold til den "ideelle" samfundsøkonomiske analyse, hvor der er fuld information omkring alle samfundsøkonomiske priser og effekter af et givent tiltag, er man ofte nødsaget til at foretage en række valg mht. forudsætninger og afgrænsninger af analysen. Som udgangspunkt kan man, som nævnt i kapitel 1, vælge at tage en "bottom-up" tilgang, hvor der startes nedefra med at regne på økonomisk lønsomhed på mikro-niveau, fx for helt specifikke teknologier. Denne tilgang har den grundlæggende begrænsning, at man ikke ser på afledte effekter på resten af økonomien. Til gengæld kan "top-down" tilgangen, hvor man netop starter med de overordnede effekter på økonomien, have den ulempe, at den foregår på et så aggregeret niveau og med så forsimplede antagelser på mikro-niveau, at de finere nuancer går tabt - jævnfør debatten i maj 2007 om Finansministeriets og Ingeniørforeningens (IDA's) beregninger af de samfundsøkonomiske omkostninger ved at nå et mål på 30 % vedvarende energi i 2025.<sup>5</sup>

### 4.1 Hvorfor endnu et studie om vindkraftens samfundsøkonomi?

Der er allerede offentliggjort en række analyser om samfundsøkonomien i vindkraft i Danmark som fx (Det Økonomiske Råd 2002; Ea Energianalyse 2006; ECON Analyse 2005; Finansministeriet et al. 2003; Larsen & Munksgaard 1996). Disse studier refereres kort sidst i dette afsnit. Fælles for analyserne er, at de generelt ikke tager tilstrækkelig højde for, at Danmark er blevet en del af et liberaliseret nordisk el-marked. Desuden er studierne for generelle eller for afgrænsede i deres analyse til at kunne anvendes til en vurdering af en konkret politisk målsætning, som at nå 50 % vindkraft i 2025.

Her vil vi fremhæve tre væsentlige grunde til, at der er behov for at analysere de samfundsøkonomiske fordele og omkostninger:

1. Der bør tages højde for, at indfasningen af vindkraft påvirker el-prisen og dermed investeringer i ny kapacitet på det nordiske el-marked, Nordpool. Det gælder især ved indfasningen af store mængder vind, som vi ser på i denne rapport.
2. Der bør tages højde for infrastrukturomkostningerne, som ikke er reflekteret i el-markedsprisen. Samfundet (via Energinet.dk) afholder udgifter til

---

<sup>5</sup> Mikael Skou Andersen har udarbejdet "Responsum angående samfundsøkonomiske analyser af vedvarende energi", som en kommentar på de samfundsøkonomiske beregninger foretaget af henholdsvis tre ministerier og Ingeniørforeningen, se [http://ida.dk/NR/rdonlyres/55708CE3-E292-439B-BE7E-3942EA221CC8/o/Responsum\\_Metal\\_IDA\\_Maj\\_2007.pdf](http://ida.dk/NR/rdonlyres/55708CE3-E292-439B-BE7E-3942EA221CC8/o/Responsum_Metal_IDA_Maj_2007.pdf)

netudbygning, forøget transmissionskapacitet til vores nabolande og til balancering. Herunder bør der sondres mellem systemomkostninger nødvendiggjort af vindudbygningen og systemomkostninger, der ville være sket alligevel.

3. Der bør tages højde for omkostninger i form af skatteforvridningstab ved et evt. støttesystem.

Vi tager højde for alle disse tre forhold i denne rapport. De tre forhold udgør tilsammen afgrænsningen af den samfundsøkonomiske analyse i rapporten. Når det er sagt, er det dog også væsentligt at understrege at denne rapport også har sine begrænsninger – ikke mindst i sin behandling af de overordnede effekter af en vindkraftudbygning på den danske økonomi, da rapporten ikke søger at give et overblik over disse (se afgrænsning i afsnit 1.3).

#### **4.1.1 Fire tidligere studier om samfundsøkonomien i dansk vindkraft**

Her refereres kort de fire ovenfor nævnte studier.

I 2002 kom Det Økonomiske Råd frem til, at støtten (som rent faktisk blev givet) til danske vindmøller i 1990'erne ikke var lønsom ud fra et samfundsøkonomisk synspunkt (Det Økonomiske Råd 2002). Hvor DØRS' undersøgelse var en evaluering af fortidens energipolitik er IMV's aktuelle analyse knyttet til de fremtidige scenarier for en massiv, dansk vindkraftudbygning. Ved at indregne omkostninger (skatteforvridningstabet) i forbindelse med støtten til vindmøller fjører IMV's analyse sig til den metode Det Økonomiske Råd har benyttet sig af. Sidstnævnte inkluderede dog ikke omkostninger til udbygning af infrastrukturen.

Tidligere danske undersøgelser er kommet frem til andre resultater. AKF's undersøgelse fra 1996 nåede frem til det resultat, at en vindkraftudbygning vil være en god forretning for samfundet, når man tager hensyn til de miljøfordele vindmøller har - sammenlignet med store kraftværker, som bruger kul og naturgas (Larsen & Munksgaard 1996). AKF's undersøgelse så dog ikke på dynamiske effekter i el-markedet. Infrastrukturomkostninger og skatteforvridningstabet var heller ikke inkluderet.

Skatteforvridningstabet er heller ikke inkluderet i nyere undersøgelser lavet af ECON og Ea Energianalyse (Ea Energianalyse 2006; ECON Analyse 2005). Ved at anvende omkostningseffektivitet som målestok for den samfundsøkonomiske lønsomhed, kommer man i begge undersøgelser frem til resultater, der viser, at vindmøller er effektive til at producere el og effektive til at reducere den danske CO<sub>2</sub>-udledning. Begge analyser er bottom-up-analyser.

I tabel 4.1 er IMV's analyse sammenlignet med de tidligere danske undersøgelser.

**Tabel 4.1 Sammenligning af danske vindkraftundersøgelser**

	IMV 2007	DØR 2002	AKF 1996	ECON 2005	Ea 2006
Kriterium for rentabilitet	Nutidsværdi	Nutidsværdi	Min. omk.	CO <sub>2</sub> omk.	CO <sub>2</sub> red. omk.
Rentabilitet af vindkraft	-	-	+	(+)	(+)
Metode	Partiel CBA	CBA	CEA	CEA	CEA
Enhed	kr	kr	Kr/kWh	Kr/ton CO <sub>2</sub>	Kr/kWh
Systemomkostninger inkluderet	Ja	Nej	Kun back up kapacitet	Ja	Ja
Støtteomkostninger inkluderet	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej

#### 4.2 Hvilke samfundsøkonomiske omkostninger undersøges i IMV's analyse?

Analysen i denne rapport kombinerer i en vis forstand bottom-up og top-down tilgangen, hvor den konkrete adfærd af de forskellige el-produktionsaktører simuleres i det nordiske liberaliserede el-marked på baggrund af konkrete teknologier. De samfundsøkonomiske effekter af at "tvinge" vindkraft ind i systemet evalueres og suppleres med beregninger af el-infrastrukturomkostninger, som ikke afholdes af aktørerne i el-markedet. Derudover beregnes de samfundsøkonomiske omkostninger forbundet med det støttesystem, der skal sikre de bindende vindkraftmål. Endelig gives et overslag over de samfundsøkonomiske miljøfordele. Resultatet af analysen i denne rapport er således et estimat af samfundsøkonomiske omkostninger (med og uden sideeffekter i form af miljøfordele) ved at nå henholdsvis 30, 40 og 50 % af el-forbruget fra vindkraft.

I boks 4.1 findes en beskrivelse af, hvilke elementer, som analysen indbefatter og de elementer, som analysen afgrænser sig fra.

I analysen er det vigtigt at modelleringen af aktørernes adfærd er baseret på realistiske markedspriser. Omvendt er det også vigtigt, at den endelige samfundsøkonomiske evaluering sker ud fra velfærdsøkonomiske priser. Som nævnt i kapitel 1 foretages investeringsbeslutningerne på baggrund af en privatøkonomisk kalkulationsrente på 10 % mens nutidsværdien (NV) beregnes på baggrund af en samfundsøkonomisk kalkulationsrente på 3 %.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Det antages at man til tidspunktet  $n$  har en kapital på  $k_n$ . Føres denne kapital tilbage til tidspunkt  $0$  med renten  $r$ , får man da nutidsværdien af kapitalen,  $k_0$ . Formlen herfor er  $k_0 = k_n(1+r)^{-n}$

**Boks 4-1 Samfundsøkonomisk analyse i denne rapport**

I denne boks er fem elementer i den samfundsøkonomiske analyse beskrevet i forhold til denne rapport. Analysen fokuserer på punkt 1-3, som tilsammen udgør en samfundsøkonomisk omkostningsanalyse. Resultatet af omkostningsanalysen suppleres med et overslag over miljøfordelen ved vindkraft (punkt 4). Øvrige fordele og omkostninger er skitseret i punkt 5 og er ikke kvantificeret i rapporten.

1: Den samfundsøkonomiske evaluering af den simulerede adfærd på det liberaliserede el-marked, Nordpool. Analysen vil evaluere investeringsforløbet, ved bl.a. at opgøre forskelle i investerings- og driftsomkostninger mellem hhv. referencescenariet og de forskellige vindmøllescenarier.

2: Forskel i el-infrastrukturomkostninger: Opstillingen af mere vind stiller høje krav til infrastrukturen. Dels skal hver vindmølle tilknyttes el-nettet, og dels skal transmissionskapaciteten udbygges, således at den optimale udnyttelse af vindkraften opnås. Disse vil blive beregnet i IMV's analyse. Få andre studier har denne betragtelige omkostning med i beregningen af samfundsøkonomien

3: Omkostninger forbundet med det støttesystem, der skal sikre, at målet for vindkraft i 2025 opnås (skatteforvridningstab). Vi giver et skøn over skatteforvridningstabet, som ofte udelades, men som kan udgøre en anseelig andel af de samlede omkostninger.

4: Forskel i miljøbelastning (fortrængning af NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> og partikler): Et overslag på vindkraftens NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub>-miljøfordele gives. CO<sub>2</sub>-kvoteprisen er tillagt produktionsomkostningen for de fossilt baserede el-producenter i simuleringen af aktørernes adfærd. Partikler er ikke inkluderet.

5: Øvrige fordele og omkostninger: Foregangsland, forsyningssikkerhed, 'lock-in' effekter af uflexibel infrastruktur, irreversible infrastrukturinvesteringer, støj, visuelle gener og effekter på biodiversitet samt dynamiske 2. ordens makroøkonomiske effekter på resten af økonomien (beskæftigelse, eksport, relative priser på især brændsel, know-how). Disse er ikke inkluderet i analysen, men vil kort blive diskuteret for at give et billede af, hvilke øvrige fordele og omkostninger der er.

**4.3 Omkostninger relateret til investeringsforløbet**

I kapitel 5 præsenteres resultaterne fra den samfundsøkonomiske omkostningsanalyse. Første trin i denne analyse er, som illustreret i boks 4.1, en analyse der evaluerer det samfundsøkonomiske investeringsforløb. Dette vedrører forskelle for aktørerne mellem reference-scenariet og de tre vind-scenarier. Evalueringen af investeringsforløbet indeholder både etablerings- og driftsomkostninger, ændring i producentoverskud (primært indtjening på el-salg), ændring i forbrugeroverskud

(forbrugernes besparelse eller merpris på el og varme) samt flaskehalsindtjening. Disse delelementer uddybes herunder:

- Producentoverskuddet dækker differencen mellem produktionsindtægter og -udgifter
- Produktionsindtægter dækker indtægter fra salg af el og varme (forventes at være positive, da der grundlæggende forventes en øget investering i vindkapacitet for alle vindscenarier)
- Producentomkostninger dækker øgede investeringer og deraf følgende øgede faste og variable driftsomkostninger, dog reduceret pga. lavere brændselsomkostninger og deraf følgende sparede brændselsafgifter og CO<sub>2</sub>-kvoter
- Forbrugeroverskud dækker ændrede omkostninger for forbrugeren – fx via priser på el og varme (forventes at være positivt pga. lavere el-priser som følge af en større el-produktion)
- Flaskehalsindtægter dækker en merindtægt til transmissionsselskaberne for de tilfælde, hvor prisen fx falder meget indenfor ét netområde, og net-kablerne mellem dette område, og naboområdet ikke har den tilstrækkelige kapacitet til at lede den overskydende el til naboområdet; derved opstår der flaskehalse, som forårsager en prisdifference, der indgår som en negativ post i hhv. forbruger- og producentoverskud – netto indgår denne post derfor ikke i den samfundsøkonomiske evaluering af investeringsforløbet.
- Skatter og afgifter indgår som hhv. en besparelse for producenterne og et provenutab for den offentlige sektor. Dette vedrører altså transfereringer mellem stat og aktører, hvorfor denne post ikke indgår i den samlede samfundsøkonomiske evaluering af investeringsforløbet<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> I modsætning til omkostninger forbundet med støtteniveauet, som antages at have skatteforvridningseffekter, (jf. punkt 3 i boks 4.1) antages der her *ikke* at være skatteforvridningseffekter i forbindelse med investeringsforløbet. Dette er forsimpelende, men marginalt i forhold til størrelsesordenen af afgiftskonsekvenserne for investeringsforløbet.



## 5. Samfundsøkonomisk omkostningsanalyse

I dette kapitel præsenteres tre sæt resultater, som tilsammen udgør en væsentlig del af de samfundsøkonomiske meromkostninger ved en udbygning af dansk vindkraft på hhv. 30, 40 og 50 % af det danske el-forbrug. Meromkostningerne skal ses i forhold til en udvikling af vindkraften på markedsvilkår (referencescenariet). Beregningerne i dette kapitel er baseret på en baggrundsrapport udarbejdet for IMV af Ea Energianalyse (Ea Energianalyse 2007c). De tre resultatsæt præsenteres nedenfor:

### 5.1 Resultater af centrale beregninger

1. Forskellen mellem referencescenariet og 50 % scenariet (central beregning) mht. bl.a. de samfundsøkonomiske etablerings-, drifts- og vedligeholdelsomkostninger (se boks 5.1) beregnes. Derudover præsenteres lignende og supplerende beregninger for hhv. et 30 og 40 % vindkraftmål.
2. De samfundsøkonomiske meromkostninger ved udbygningen af el-infrastrukturen til at integrere henholdsvis 30, 40 og 50 % vindkraft i el-systemet.
3. Skatteforvridningstabet ved støttesystemet, som er en forudsætning for, at vindkraftmålet nås.

Bemærk, at øvrige samfundsøkonomiske fordele (eksempelvis miljøfordele) og omkostninger (eksempelvis visuelle eksternaliteter og dynamiske effekter på øvrige sektorer i dansk økonomi) ikke er inkluderet i beregningen i dette kapitel. I kapitel 7 giver vi et overslag over miljøfordelene og diskuterer de øvrige elementer relateret til den samfundsøkonomiske analyse.

Beregningerne for punkt 1 til 3 ovenfor viser for henholdsvis 30, 40 og 50 % vindkraft, at de samfundsøkonomiske omkostninger kan forventes at være i størrelsesorden som præsenteret i Tabel 5.1.

**Tabel 5.1 Samfundsøkonomiske omkostninger ved udbygning af vindkraft til henholdsvis 30, 40 og 50 % af el-forbruget**

Mia. kr. (nutidsværdi, 2006- priser)	Samfundsøkonomisk evaluering af investeringsforløbet	Yderligere El-infrastruktur	Omkostninger til støttesystem (skatteforvridning)	Totale omkostninger
30 %	-2,4	1,3	1,4	0,3
40 %	-2,5	2,2	2,2	1,9
50 %	-1,9	3,5	4,3	5,9

Beregningsforudsætninger: 3 % diskontering, CO<sub>2</sub>-kvotepris på 150 kr./ ton, oliepris på 50 US\$/tønne, privatøkonomisk kalkulationsrente på 10 % og vindmøllepriser falder over tid.

Bemærk: Den samfundsøkonomiske evaluering af investeringsforløbet har negativt fortegn, dvs. at der er tale om en samfundsøkonomisk fordel isoleret betragtet.

Kilde: Ea Energianalyse (2007c) samt egne beregninger

Den samfundsøkonomiske evaluering af investeringsforløbet er præsenteret i mere detaljeret form i tabel 5.2

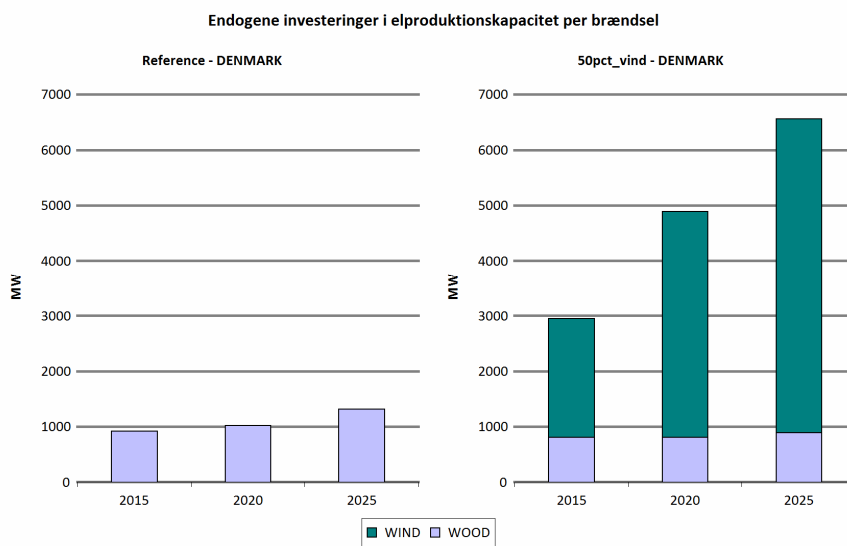
**Tabel 5.2. Samfundsøkonomisk evaluering af investeringsforløbet\***

Mia. kr. (nutidsværdi, 2006- priser)	30 %	40 %	50 %
Producentoverskud	0,6	-0,5	-2,6
- heraf produktionsindtægter	9,0	11,1	13,0
- heraf produktionsomkostninger	-8,4	-11,6	-15,6
Forbrugeroverskud	1,6	2,7	4,0
Flaskehalsindtægter	0,2	0,5	1,0
Statslige afgiftsindtægter	-0,03	-0,2	-0,5
<b>Sparede samfundsøkonomiske omkostninger relateret til investeringsforløbet (ekskl. skatter og afgifter)</b>	<b>2,4</b>	<b>2,5</b>	<b>1,9</b>

\*heri er ikke indregnet infrastrukturomkostninger og skatteforvridning (se afsnit 4.3)  
 Beregningsforudsætninger: 3 % diskontering, CO<sub>2</sub>-kvotepris på 150 kr./ ton, oliepris på 50 US\$/tønne, privatøkonomisk kalkulationsrente på 10 % og at vindmøllepriser falder over tid.  
 Kilde: Ea Energianalyse (2007c)

Resultaterne i tabel 5.1 og 5.2 diskuteres i afsnit 5.1 nedenfor. Herefter præsenteres og diskuteres en række øvrige hovedresultater (CO<sub>2</sub>-reduktion, el-pris og effekter i resten af Nordpool-området) i afsnit 5.2. Først præsenteres imidlertid resultatet af modelleringen for investeringerne i el-produktionskapacitet i referencescenariet og 50 % scenariet.

Figur 5.1: Investeringer i el-produktionskapacitet (akkumuleret) i referencescenariet og 50 % scenariet i perioderne 2011-2015, 2016-2020 og 2021-2025 i Danmark.



Kilde: (Ea Energianalyse 2007c)

I figur 5.1 fremgår det, at der ifølge beregningerne ikke investeres i vindkraft på markedsvilkår i hele perioden - hverken landbaseret eller havbaseret.



I begge scenarier bliver resultatet, at der investeres i biomassefyrede kraftvarmeværker. I 50 % scenariet udbygges der yderligere først med land- og derefter med havvindmøller. Fra 2011 og frem til 2025 giver dette ca. 1.310 MW i referencescenariet og 890 MW i 50 % vindkraftscenariet, hvilket svarer ca. til 2 nye Avedøre II blokke. I 50 % scenariet bliver der – for at opfylde det antagede delmål på 32 %<sup>8</sup> i 2015 – udbygget med 2.145 MW vindkraft på land. I 2016-2020 udbygges der endvidere med 1.355 MW landvindmøller, hvorved der så er fuld udbygning af landvind i forhold til de forudsatte pladsmæssige begrænsninger. Der suppleres med 591 MW havvindmøller også i 2016-2020 for dermed at opnå et antaget delmål på 41 %. Endelig bliver resultatet, at der i 2021-2025 investeres i endnu 1.579 MW på havet. Det bemærkes, at vindkraftudbygningen på havet - ifølge modellen - først finder sted i Vestdanmark op til den grænse på 1.250 MW, som er sat af den modellerede udbygning med el-infrastruktur – og derefter i Østdanmark.

I forhold til mankoen mellem de nuværende 15 % vedvarende energi og målet om 30 % i 2025 (begge i forhold til bruttoenergiforbruget) betyder udbygningen med vind til 50 % isoleret set en forøgelse af den vedvarende energis andel fra 15 % i 2005 til 19 % i 2025 (se figur 1.1 i kapitel 1).

I det følgende vil vi nuancere ovenstående centrale resultater og diskutere hvordan de kan fortolkes. I kapitel 6 vil vi derudover nærmere analysere hvor følsomme beregningerne er overfor alternative forudsætninger, og diskutere implikationerne for hvilke politik-anbefalinger man deraf kan aflede.

## 5.2 Diskussion: Omkostningerne stiger med øget udbygning

Udbygningen op til 30 % af det danske el-forbrug fra vindkraft i 2025 (fra et forventet udgangsniveau i 2010 på omkring 24 %) er forbundet med en samfundsøkonomisk omkostning på 0,3 mia. kr. (nutidsværdi, 2006 priser) - hvis miljøfordelene ikke inkluderes.

Billedet er det samme ved en 40 og 50 % udbygning. En udbygning på henholdsvis 40 og 50 % af det danske el-forbrug fra vindkraft er ifølge resultatet af analysen forbundet med samfundsøkonomiske omkostninger på 1,9 og 5,9 mia. kr. Dvs. at de marginale samfundsøkonomiske omkostninger også stiger.

---

<sup>8</sup> Dette delmål er en teknisk restriktion, der er indsat i modelleringen med henblik på at opnå en gradvis opfyldelse af de endelige mål. Generelt kan sådanne delmål forventes at betyde forhøjede samlede omkostninger i forhold til en situation uden en restriktion. Bindende delmål kan dog også give teknologilæring på markedet (læreeffekter), som markedet ellers ikke ville sikre, da aktørerne har en kortere tidshorisont end samfundet har.

Det er ikke overraskende, at de samfundsøkonomiske omkostninger stiger med en øget vindkraftudbygning. De samfundsøkonomiske omkostninger for alle tre vindkraftmål er drevet af behovet for at udbygge infrastrukturen og nødvendigheden af et støttesystem, der sikrer at markedsaktørerne investerer. Hvis man alene ser på første søjle i tabel 5.1 – dvs. centrale samfundsøkonomiske omkostninger korrigeret for salg af el til udlandet og sparede indkøb af CO<sub>2</sub>-kvoter (som beskrevet i boks 5.1) er dette ifølge beregningerne isoleret set (når man ser bort fra fx infrastruktur-omkostninger) en samfundsøkonomisk fordel ved en kalkulationsrente på 3 pct. De tre omkostningselementer diskuteres hver for sig i de følgende afsnit.

### 5.2.1 Samfundsøkonomisk evaluering af det private investeringsforløb

Selve investeringsforløbet for både 30, 40 og 50 % scenarierne forventes at være samfundsøkonomisk fordelagtige i forhold til det markedsbaserede referencescenarium, når der regnes med en kalkulationsrente på 3 % (og man ser bort fra infrastruktur mv.). For 50 % scenariet er denne fordel på 1,9 mia. kr. (NV), men den er højere for både 30 og 40 % scenarierne – med en nutidsværdi på henholdsvis 2,4 og 2,5 mia. kr. Disse fordele vejer dog mindre end de samlede omkostninger ved infrastrukturudbygningen og skatteforvridningstabet ved et støttesystem.

Det kan umiddelbart virke ulogisk, at konsekvensen af at pålægge markedsmo- del- len en restriktion om en vindandel på henholdsvis 30, 40 og 50 % af el-forbruget, bliver en samfundsøkonomisk gevinst - hvad angår selve investeringsforløbet. Da man som udgangspunkt kunne forvente at begrænsninger i handlefriheden vil påføre aktørerne yderligere omkostninger. Forklaringen skal findes i forskellen på, hvad der er privatøkonomisk optimalt, og hvad der er samfundsøkonomisk optimalt. Modelleringen af aktørernes adfærd er baseret på en privatøkonomisk kalkulationsrate på 10 %, og resultatet heraf kan ikke forventes at være det samme, som det samfundsøkonomisk optimale investeringsforløb (ved en samfundsøkonomisk kalkulationsrente på 3 %). Helt konkret forventes markedsaktørerne - ifølge modellen - ikke at opstille vindmøller i det 20-årige investeringsforløb (jf. referencescenariet). Det betyder altså, at der er behov for virkemidler (fx støtte), som kan tilskynde aktørerne til at investere i det ønskede omfang, så vindkraften i 2025 udgør 30, 40 eller 50 % af el-forbruget. De samfundsøkonomiske konsekvenser af at give støtte til vindkraftudbygningen vil blive diskuteret i afsnit 5.2.3 herunder.

Evalueringen af investeringsforløbet i referencescenariet kan tolkes som en indikation af, at et investeringsforløb, der følger af de private aktøres investeringer på det danske energimarked - uden indgreb fra staten, kan være mindre samfunds- mæssigt ønskværdigt end et forløb, hvor man sikrer, at 50 % af el-forbruget dæk- kes af vindenergi. Her er det dog vigtigt at erindre, at referencescenariet ikke er en

direkte kopi af de nuværende forhold, hvor vindenergi allerede får tilskud. Desuden er alle omkostningselementer og fordele ikke inkluderet.

### 5.2.2 Infrastrukturomkostninger

Infrastrukturomkostningerne relaterer sig navnlig til landføring af strømmen fra havvindmølleparker samt netforstærkning (se evt. en nærmere beskrivelse heraf i Ea Energianalyse (2007c). Det antages, at der ikke bliver behov for at forstærke det overordnede net af hensyn til opsætning af møller på land.

Infrastrukturomkostningerne opgøres særskilt og er således ikke en del af producenternes modellerede investeringsbeslutninger. Dette stemmer overens med den virkelige verden, hvor udgifter til nettet ikke er reflekteret i priserne på Nordpool og i afregningspriserne til vindmøllejerne. De indgår imidlertid i de samlede el-priser, som el-forbrugere i Danmark skal betale via public service obligations (PSO).

Selve omkostningen til etablering, drift og vedligeholdelse af vindmøllerne pålægges producenterne og er ikke med i beregningen af infrastrukturomkostningerne. Omkostningerne er opgjort som den nødvendige merinvestering i el-systemet ved realisering af de tre vindmølle-mål på henholdsvis 30, 40 og 50 % i forhold til en referencesituation, hvor der slet ikke finder en udbygning sted.

Behovet for at udbygge infrastrukturen varierer på tværs af de tre vindkraftsmål, hvor de samlede investeringer i infrastrukturen er beregnet til henholdsvis 2, 5 og 8 mia. kr. (2006 priser). I tabel 5.1 ovenfor er omkostningerne tilbagediskonteret med 3 % og angivet som nutidsværdier.

For en grundigere gennemgang af forudsætningerne bag beregningerne af infrastruktur-omkostningerne henvises Ea Energianalyse (2007c). Her findes også en begrundelse for, at estimaterne for infrastrukturomkostningerne anvendt i denne analyse bør ses som et centralt estimat.

### 5.2.3 Støttebehov og skatteforvridningstab

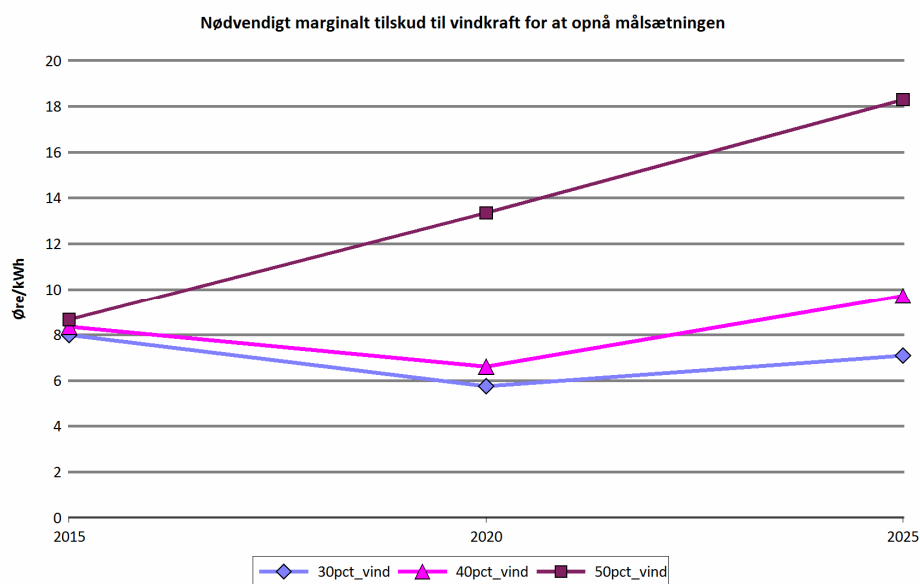
Som nævnt kan der ifølge beregningerne ikke forventes vindkraftinvesteringer i Danmark uden tilskud, hvis investorerne anvender en kalkulationsrente på 10 % over 20 år, dvs. med et årligt afkastkrav på 12 %

Derfor er det relevant at udregne et nødvendigt støttebehov for at opnå de analyserede mål. Vi udregner dette behov via estimeringen af det marginale støttebehov på forskellige tidspunkter. Det marginale tilskudsbehov skal principielt tolkes som den støtte, den sidste vindmølle skal have for at blive sat op på det pågældende tidspunkt. Det betyder, at en lavere støtte sandsynligvis også vil føre til opsætning af en vis mængde vindmøller, da alle placeringer i princippet er bedre (økonomisk

set) end den placering, hvor den sidste mølle bliver sat op (dette gælder især for vindmøller på land).

Det marginale støttebehov i 30, 40 og 50 % scenarierne er illustreret i Figur 5.2 nedenfor. I figuren ses det, at det marginale nødvendige tilskud til vind (som modelteknisk er skyggeprisen på vindbegrænsningen) ligger mellem 6 og 18 øre/kWh (2006-priser) for alle tre vindscenarier over hele perioden indtil 2025. Dette afspejler i hovedtræk tilskudsbehovet for landvindmøller i 2015, og for havvindmøller i 2020 (gode placeringer i Vest-Danmark) og 2025 (mindre gode placeringer i Øst-Danmark). Det forklarer samtidig, hvorfor tilskudsbehovet vokser over tid i 50 % scenariet, hvis målet skal nås, selvom der er taget højde for læreeffekter på vindmøller i modellen.

Figur 5.2: Det nødvendige marginale tilskud til vindkraft for at opnå en given målsætning



Figurforklaring: Punkterne i figuren viser det tilskud der ifølge beregningerne skal til for at tilskynde til opførelse af den marginale vindmølle i 2015, 2020 og 2025. Liniere imellem punkterne repræsenterer ikke nødvendigvis det reelle nødvendige marginale tilskud herimellem.

Kilde: Ea Energianalyse (2007c)

Den nuværende støtteordning på 12,3 øre/kWh (10 øre + 2,3 øre i balanceomkostninger) vil ifølge disse beregninger føre til både 30 og 40 % vindkraft i el-systemet i 2025 (hvis støtten måles i 2006-priser). Derfor kan man principielt set forvente, at både en 30 og 40 % udbygning vil ske af sig selv. At der ikke sker en udbygning af vindkraften på nuværende tidspunkt, kan til dels skyldes, at modellens investeringsomkostninger for vind er betydeligt lavere i 2015, end de er i dag. Men det kan

også tyde på, at der er andre problemer såsom administrative og planlægningsmæssige barrierer i Danmark – dette gennemgås yderligere i Del III.

Da punkterne for år 2015, 2020 og 2025 i figur 5.2 repræsenterer støttebehovet ved forskellige vindmølleteknologier og -placeringer, vil det være mere realistisk at forestille sig spring i støttebehovet, end at der interpoleres lineært mellem punkterne i figuren. Det antages, at de relevante spring finder sted i år 2017 og 2022. I beregningerne af støttebehovet og skatteforvridningstab antages det endvidere, at støtteniveauet for en given vindmølle gives i hele dens levetid (20 år) på det oprindelige niveau i opsætningsåret, og at fremtidige stigninger i støtteniveauet derfor kun vedrører vindmøller opført derefter. I realiteten svarer dette til at målrette støtteniveauet til de relevante teknologier på investeringstidspunktet.

Det forudsættes således, at fx alle landvindmøller får det samme tilskud, fastsat efter det nødvendige tilskudsbehov for den landvindmølle med det højeste marginale støttebehov. Ideelt set må det være muligt at skrue et system sammen med lavere støttebehov, f.eks. ved at differentiere mellem gode og dårlige placeringer. På den anden side er det i praksis umuligt at ramme det marginale tilskudsbehov for den enkelte mølle, da det vil kræve fuld information om placeringer og investorer.

Det nødvendige støttebehov i perioden er beregnet ved at multiplicere den årlige vindmølleproduktion fra møller opsat fra 2010 og fremefter med det årlige marginale tilskudsbehov i hvert år - det gælder selvfølgelig både den ekstra kapacitet og kapacitet, der erstatter udtjente møller. Det samlede støttebehov er beregnet til følgende nutidsværdier: 9,0 mia. kr. for 30 % scenariet, 11,2 mia. kr. for 40 % og 21,6 mia. kr. for en vindkraftudbygning til 50 % af el-forbruget.

Støttebehovet er en transferering og bør ikke i sig selv indgå i en samfundsøkonomisk analyse. Uafhængigt af antagelserne omkring de fordelingsmæssige konsekvenser af et subsidie, må man dog forvente negative makroøkonomiske effekter i form af et skatteforvridningstab. Dette dækker over forventningen om, at der altid vil være en samfundsmæssig omkostning i form af et skatteforvridningstab i forbindelse med den nødvendige skatteopkrævning til subsidiet. Skatteforvridningstab antages typisk – med baggrund i Finansministeriets retningslinier for samfundsøkonomisk analyse (Finansministeriet 1999) – at være på gennemsnitligt 20%.

Tallet på 20% må anses som en forsimplet antagelse, da alle skatter ikke kan forventes at have samme forvridende effekt. En finansiering over indkomstskatten kan være stærkere forvridende end finansiering over el-prisen, men dette afhænger – ligesom det gælder for de fordelingsmæssige konsekvenser af beskatning – af den konkrete udformning af skatterne. Energiskatter (også i form af PSO-

afgifter) er dog klart blandt de mere degressive skatter – dvs. at de vender den tunge ende nedad rent fordelingsmæssigt (Larsen & Pedersen 2005). Det ligger uden for rammerne af denne rapport at vurdere skatteforvridningspotentialet af forskellige typer af beskatning. En sådan analyse vil kræve en makroøkonomisk model, der tager højde for de afledte effekter i økonomien.

For at få et estimat for det samlede skatteforvridningstab multipliceres det årlige støttebehov over perioden 2010-2025 således med 20%.<sup>9</sup> Dermed fremkommer resultaterne i fjerde søjle i Tabel 5.1

I et EU-projekt af Haas et al (2007) har man for en række EU-lande undersøgt sammenhængen mellem mængden af installeret kapacitet af vedvarende energi og omkostningerne ved to styringsmidler til fremme af el-produktion fra vindmøller – nemlig omsættelige grønne certifikater og prisgaranti eller prisstøtte til vindmøllejeeren. Haas' studie (2007) peger i retning af, at prisgaranti potentielt sikrer den mest omkostningseffektive støtte til vedvarende energi.

Studiet inkluderer ikke Danmark, hvor prisstøtte har været det primære styringsmiddel. Der er således behov for at evaluere både prisgaranti og grønne certifikater i en konkret dansk støtteordningskontekst. Andre styringsmidler, som bør evalueres, er investeringstilskud, differentierede støttesystemer, specielle skatteregler og licitation. I kapitel 8 findes en generel gennemgang af forskellige virkemiddeltyper.

### 5.3 Diskussion: Effekter på CO<sub>2</sub>-udledning og el-prisen

I dette afsnit fremhæves to interessante resultater af analysen.

#### 5.3.1 CO<sub>2</sub>-udledningen sker udenfor Danmarks grænser

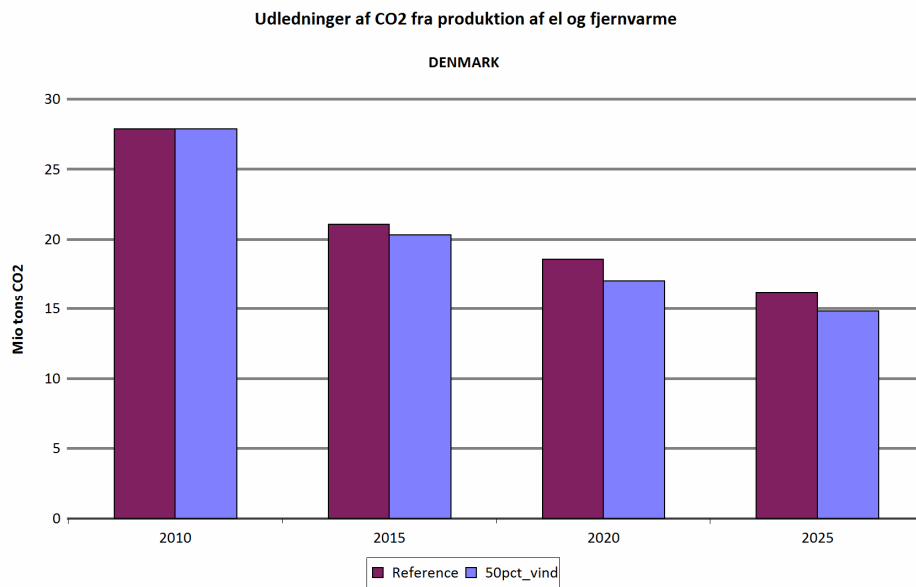
Ifølge beregningerne falder udslippet af CO<sub>2</sub> fra el- og fjernvarmesektoren i Danmark væsentligt i perioden frem til 2025 i samtlige scenarier – ikke bare i 30, 40 og 50 % scenarierne, men også i referencescenariet, hvor der ikke investeres i vindkraft i hele perioden frem til 2025 (jf. figur 5.1 nedenfor). Årsagen er dels, at Danmark går fra at være netto-importør af el til at være eksportør af el. Desuden er der som nævnt i afgrænsningen en antagelse i beregningerne om, at den eksisterende kraftværkspark skrottes med 3 % om året (eksogent) og delvist erstattes i forbindelse med opførelsen af centrale biomasseværker. Dette gælder i alle fire scenarier.

I figur 5.3 fremgår CO<sub>2</sub>-udslippet i el- og fjernvarmesektoren i henholdsvis referencen- og 50 % scenariet i perioden 2010 til 2025.

---

<sup>9</sup> Heri indregnes også det forventede fremtidige støttebehov til vindmøller med forventet levetid længere end 2025.

Figur 5.3: Figuren viser den løbende indvirkning på CO<sub>2</sub>-udslippet fra el og fjernvarmeproduktionen i Danmark i henholdsvis reference og 50 % scenariet.



Note: Året 2010 er forudsætningsmæssigt identiske i de to scenarier, og har dermed også samme resulterende CO<sub>2</sub>-udslip. Herefter falder udslippet i begge scenarier i kraft af at der i begge kommer øgede mængder CO<sub>2</sub>-fri produktionskapacitet ind i systemet. Udslippet falder mest i 50 % scenariet.

Kilde: Ea Energianalyse (2007c)

Det fremgår af figuren, at den væsentligt større mængde vindkraft i systemet i 50 % vindkraftscenariet betyder, at der i Danmark i 2025 udledes 1,4 million tons mindre CO<sub>2</sub> end i referencescenariet. I referencescenariet reduceres emissionen i el- og fjernvarmesektoren til 57 % af 2010 emissionen, mens den i vindkraftscenariet reduceres til 55 %. Effekten af vindkraftudbygningen selv til 50 % er begrænset, da Danmarks el-eksport ifølge beregningerne stiger som følge af vindkraftmålsætningen. Således bliver en del af CO<sub>2</sub>-reduktionen som følge af den danske vindsatsning realiseret i vores nabolande via tilpasning af el-produktionen der. Denne effekt betyder, at CO<sub>2</sub>-reduktionen i hele Nordpool-området alt andet lige bliver på ca. 7 mio. tons per år i 2025, mens den til sammenligning i Danmark bliver ca. 1,4 mio. ton per år. Som beskrevet i boks 5.1 skal dette imidlertid ikke betragtes som en nettoeffekt på CO<sub>2</sub>-reduktionen, men det er dog relevant i forbindelse med opgørelser af de enkelte landes opfyldelse af deres CO<sub>2</sub>-reduktionsforpligtelser.

Resultatet af beregningerne bliver altså, at Danmark så at sige eksporterer ca. 80 % af sin CO<sub>2</sub>-gevinst ved vindkraftudbygningen. Årsagen er, at Danmark befinder sig i et integreret el-marked, hvormed effekterne på el-prisen af yderligere vindkraft i princippet påvirker alle aktører på markedet og ikke kun danske aktører. Dermed sker kun en mindre del af tilpasningen (fortrængningen) i øvrig el-kapacitet og el-produktion i Danmark.

Det samme billede – bare i mindre målestok – fås ved sammenligning mellem referencescenariet på den ene side og 30 og 40 % vindkraftscenarierne på den anden side.

Hvert af de tre vindscenarier forventes derfor kun at have en begrænset effekt på Danmarks CO<sub>2</sub>-udledning. Til gengæld vil udbygningen med vind i Danmark alt andet lige forventes at fortrænge CO<sub>2</sub>-udslip i vores nabolande.

**Boks 5.1 Effekter af CO<sub>2</sub>-kvotesystemet på CO<sub>2</sub>-reduktion**

Grundlæggende er CO<sub>2</sub>-kvotesystemet designet til at sikre opnåelse af givne CO<sub>2</sub>-reduktionsmål. Med et givent CO<sub>2</sub>-reduktionsmål og et givent antal kvoter vil en lokal reduktion af CO<sub>2</sub>-udledningen (fx ved at man erstatter kul-kraft med vindkraft) ikke betyde en forøget reduktion i systemet, men først og fremmest, at man andre steder i EU kan reducere CO<sub>2</sub>-udslippet tilsvarende mindre. Årsagen hertil er, at en isoleret reduktion i CO<sub>2</sub>-udledningen betyder et formindsket behov for de pågældende aktører at erhverve sig CO<sub>2</sub>-kvoter. Det er således efterspørgslen og udbuddet af CO<sub>2</sub>-kvoter (og dermed evt. prisen på CO<sub>2</sub>-kvoter) der påvirkes af en større satsning på dansk vindkraft – ikke det samlede CO<sub>2</sub>-udslip i EU.

Den samfundsøkonomiske fordel af sparede kvotekøb i Norden (sparede CO<sub>2</sub>-tiltag) mere end opvejes dog af samfundsøkonomiske meromkostninger ved investeringsforløbet i Nordpool området. Modellen viser, at vindkraftudbygningen i Danmark kan forventes at have negativ, men minimal, effekt på resultatet af den samfundsøkonomiske evaluering af investeringsforløbet i hele Nordpool-området (Danmark og vores nabolande). Se tabel 5.3, hvor omkostningerne er angivet for både Danmark og Nordpool-området. Sidstnævnte er angivet i parentes.

**Tabel 5.3 Samfundsøkonomiske omkostninger i Danmark og Nordpool (i parentes) ved udbygning med vindkraft til henholdsvis 30, 40 og 50 % af el-forbruget.**

Vindmål	Samfundsøkonomisk evaluering af investeringsforløbet (inkl. køb af CO <sub>2</sub> -kvoter) Mia. kr. (NV)	Yderligere infrastruktur Mia. kr. (NV)	Omkostninger til støttesystem Mia. kr. (NV)	Totale omkostninger Mia. kr. (NV)
30 %	-2,4 (-2,2)	1,3	1,4	0,3 (0,5)
40 %	-2,5 (-2,4)	2,2	2,2	1,9 (2,0)
50 %	-1,9 (-1,8)	3,5	4,3	5,9 (6,0)

Beregningsforudsætninger: 3 % diskontering, CO<sub>2</sub>-kvotepris på 150 kr./ ton, oliepris på 50 US\$/tønne, privatøkonomisk diskonteringsrate på 10% og vindmøllepriser falder over tid.

Negative tal i tabellen betyder negative netto-omkostninger.

Kilde: Ea Energianalyse (2007c) samt egne beregninger.



I eksemplet ovenfor opvejer den dansk-drevne vindmølleudbygnings-CO<sub>2</sub>-effekt og de samfundsøkonomiske meromkostningerne ved investeringer i ny kapacitet hinanden. Dette billede ændres, når miljøfordelene ved reduceret SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-udledning vurderes for hele Nordpool-området, jf. afsnit 7.1. Her vises vigtigheden af at anlægge et perspektiv, der rækker ud over Danmarks grænser.

### 5.3.2 Afdæmpende effekt på el-prisstigningen

El-prisen forventes at stige i alle fire scenarier fra et fælles udgangspunkt i 2010, hvor den er beregnet til ca. 32,5 øre/kWh. I referencescenariet stiger el-prisen til ca. 36 øre/kWh i 2025, men indfasningen af vindkraft har en afdæmpende effekt på prisstigningen, da udbuddet af el tvinges op af en ydre restriktion. Desuden har vind lavere marginalomkostninger end de øvrige el-produktionsteknologier. Således stiger el-prisen ifølge beregningerne kun til 33, 34 og 35 øre/kWh i henholdsvis 50, 40 og 30 % scenarierne.

Dette fald i el-markedsprisen kommer ikke nødvendigvis til udtryk i form af lavere el-priser for forbrugeren. Den nødvendige støtte til udbygningen med vindkraft samt finansiering af de nødvendige infrastrukturomkostninger vil sandsynligvis blive betalt over el-regningen og dermed have en fordyrende effekt. Den samlede effekt af finansiering af støtten til vindmøller og infrastrukturinvesteringerne over el-regningen og den lavere el-markedspris på den almindelige danskers el-regning i 2025 har vi beregnet til:

- Betydningen for danskernes el-regning i 2025 af en udbygning af vindkraften til 50 % af el-forbruget bliver 3,3 øre/kWh. Dette svarer til, at en gennemsnitlig husstand (forbrug: 4.000 MW) får en merudgift på 130 kr. om året i 2025 (faste priser, 2006).
- For 30 og 40 % udbygningen bliver effekten henholdsvis 2,3 og 2,1 øre/kWh svarende til henholdsvis 92 og 84 kr. per husstand i 2025.

Disse beregninger er baseret på det samlede støttebehov (ikke at forveksle med skatteforvridningstabet, som udgør 20 % af det absolutte støttebehov). Det samlede støttebehov er beregnet på grundlag af det nødvendige marginale støttebehov til opsætning af nye møller (jf. Figur 5.2 ovenfor) samt erstatning af udtjente møller i de respektive år mellem 2010 og 2025. Det er endvidere antaget, at den eksisterende park af landvindmøller er fuldkommen erstattet i 2025 – fordelt på en fast erstatningsrate om året (denne antagelse ligger også i simuleringen i el-markedsmodellen).

Effekten af lavere el-priser har også 2. ordens effekter på især el-intensive erhverv. Vi ser ikke på sådanne effekter i denne analyse.

#### 5.4 Diskussion: Sammenligning af vind og biomasse

Som det fremgår i figur 5.1 bliver der ved simuleringen i Balmorel kun investeret i biomassebaseret el-produktion i det markedsbaserede referencescenarium. En isoleret sammenligning mellem den samfundsøkonomiske evaluering af investeringsforløbet i markedsscenariet og de tre vindkraftscenarier viser dog - som tidligere nævnt, at vindkraftscenarierne giver en højere nutidsværdi (med en kalkulationsrente på 3 %).<sup>10</sup>

Dette skyldes i høj grad, at en lav kalkulationsrente på 3 % implicit tillægger fremtidige indtægter og omkostninger en højere værdi end en privatøkonomisk kalkulationsrente på 10 % i referencescenariet. Eftersom investeringsomkostningerne til vind er relativt høje i forhold til investeringsomkostningerne for biomasseproduktion, mens de løbende omkostninger relativt er lavere, vil en lavere kalkulationsrente pr. definition tillægge vindkraftsscenarierne en relativt højere nutidsværdi end referencescenariet i forhold til biomasse.

Helt overordnet ligger der en afgrænsning i valg af analysefelt, idet vi ikke sammenligner vindkraft med øvrige VE-teknologier. Vindkraft må imidlertid forventes at være blandt de mest omkostningseffektive VE-teknologier (Ea Energianalyse 2006). For at få en indikation af den relative omkostningseffektivitet mellem vindkraft og øvrige VE-teknologier (fx biomasse) har vi simuleret aktørernes adfærd i Balmorel med et afkastkrav, der svarer til den samfundsøkonomiske kalkulationsrente (3 %).

Resultatet af en sådan simulering med en privat kalkulationsrente svarende til den samfundsøkonomiske kalkulationsrente på 3 % viser, at der i så fald vil forventes at blive investeret i vind i markedsscenariet. Der bliver stadig investeret i biomasse, men kun halvt så meget som i vindkraft.

Der gælder ved alle simuleringerne, at biomasse er afgiftsfritaget på varmeområdet i modsætning til fossile brændsler, hvilket svarer til de nuværende afgiftsregler. Denne indirekte favorisering af biomasse afspejler sig i investeringerne i biomassebaserede kraftvarmeværker. Det er således tænkeligt, at investeringsbilledet ville se anderledes ud - såfremt afgifterne for varme produceret ved biomasse henholdsvis fossile brændsler blev sidestillet.

I endnu en supplerende simulering regnes der også på et scenarium, hvor der ikke er afgifter på varmeområdet og den private kalkulationsrente sættes lig den samfundsøkonomiske kalkulationsrente på 3 %. I så fald forventes der ikke, at der

---

<sup>10</sup> I denne sammenligning tages således ikke højde for infrastrukturomkostninger og omkostninger ved en eventuel støtteordning.

bliver investeret i biomasseanlæg i Danmark – men i stedet i vindkraft og kulkraft (Ea Energianalyse 2007b).

Disse partielle resultater indikerer behovet for opmærksomhed omkring grundantagelserne i beregningerne. En lav kalkulationsrente fremmer teknologier med relativt høje investeringsomkostninger og lave løbende omkostninger – såsom vind – og omvendt. Derudover kan resultaterne indikere, at biomasse kan fremstå som mere omkostningseffektiv ifht. vindkraft end den i virkeligheden er, pga. afgiftsfritagelsen på varmeområdet.

Vi kan ikke ud fra disse partielle analyser konkludere, om vindkraft er samfundsøkonomisk bedre eller ringere end biomasse – ikke mindst fordi vindkraft vil være forbundet med betydelige ekstraomkostninger til infrastrukturen, som undgås ved biomasseværker, da disse i langt højere grad kan indpasses i det eksisterende system.

I en analyse, som skal finde den mest omkostningseffektive måde at opnå et samlet VE-mål på 30 % i 2025, skal det også indarbejdes i hvor høj grad den pågældende VE-teknologi fortrænger indenlandsk fossil el-produktion. Som diskuteret i afsnit 5.3.1 vil den massive investering i vindenergi ved et mål på 50% af el-forbruget fra vindkraft - ifølge vores beregninger - kun forventes at resultere i en ca. 20 % fortrængning af fossil indenlandsk el-produktion. Dette kan igen være direkte forårsaget af en grundantagelse i analysen, nemlig at der kun skrottes 3 % af den fossile el-produktion i den givne periode. Ikke desto mindre skal man være opmærksom på, at det til en vis grad er muligt at substituere kul med biomasse i de nuværende centrale kraftvarmeværker, hvorfor el-produktion baseret på biomasse kan forventes at have større afledt effekt på den fossile el-produktion end vindkraft.

## **5.5 Diskussion: Forudsætningernes betydning for resultaterne**

De forudsætninger og antagelser, der ligger til grund for modelberegningerne, har uundgåeligt effekt på resultaterne.

Det er klart, at en modellering af dynamiske effekter på det nordiske el-marked nødvendigvis må ske på et højt abstraktionsniveau. En grundlæggende antagelse i disse beregninger er fx antagelsen om, at al udenlandsk investering i vindkraft er eksogent givet ud fra forventninger fra hhv. Nordel og DENA - se mere i Ea Energianalyse (2007c). Dette forhindrer modellen i at optimere investeringerne i vindenergi over landegrænser. Det har dog heller ikke været formålet med indeværende studie, hvorfor den gældende antagelse er ganske plausibel.

Antagelsen om at vindkraften i 50 % scenariet udbygges gradvist til 32 % i 2015, 41 % i 2020 og 50 % i 2025 betyder, at de fundne samfundsøkonomiske omkostnin-

ger ved at opsætte vindkraft svarende til 50 % af el-forbruget kan være overestimerede. Dette skyldes, at det muligvis ville have været mere rentabelt at udskyde investeringerne til senere i perioden. Antagelsen kan retfærdiggøres ud fra den betragtning, at det er mest realistisk med en gradvis vindkraftsudbygning.

Idet modellen optimerer indenfor de givne rammer med investering i den billigste vindmølleteknologi først og med en begrænsning for landvindmøllebaseret vindkraft på maksimum 3.500 MW, vil simuleringerne altid resultere i, at landvindmøllerne etableres først og havvindmøllerne til sidst - givet de relativt højere omkostninger forbundet med havvindmøller. Dette har en direkte effekt på estimeringen af det nødvendige støtteniveau, der stiger fra 8,6 øre/kWh i 2015 til 18 øre/kWh i 2025. Man kunne imidlertid forestille sig en situation, hvor der var et politisk ønske om at udbygge vindkapaciteten på hav sideløbende med udbygningen af kapaciteten på land. Argumentet herfor kunne være et ønske om at opretholde en førerposition indenfor vindteknologi og bibeholde et hjemmemarked. Dette ville i så fald nødvendiggøre et målrettet højere støtteniveau til havvindmøller i starten af analyseperioden.

I simuleringerne antages kendte priser på el-produktion – også mht. brændsels- og CO<sub>2</sub>-kvoterpriserne. Størrelsen af disse usikre parametre påvirker direkte den nødvendige støtte til vindmøller. Højere priser på fossile brændsler vil alt andet lige gøre vindkraft relativt mere attraktivt og derfor reducere støttebehovet. Samme effekt gør sig gældende for en højere CO<sub>2</sub>-kvotepris. Vi foretager følsomhedsanalyser heraf i afsnit 6.2.

I det støttebehov, der er estimeret i dette studie, tages der ikke højde for at aktørerne kan finde på at handle strategisk. I det der i modellen er antaget fuldkommen information, ville et eventuelt støtteniveau ligeledes være kendt for aktørerne. Dette kunne medføre strategisk investeringsadfærd, hvor aktørerne vil vente med at investere til støtten er blevet højere. Betydningen af denne risiko afhænger i høj grad af investorernes markedsmagt og udformningen af støtteprogrammet. Ved fuldkommen konkurrence bliver det svært at udføre en strategisk investeringsadfærd, hvilket også kan være tilfældet med det rette støtteprogram.

Antagelsen om, at der skrottes 3 % af den fossile el-produktion om året, er modeleret eksogent, hvilket formentlig har stor indflydelse på resultatet om, at kun 20 % af den fossile indenlandske produktion fortrænges. En interessant udvidelse af modellen kunne være at gøre skrotningen endogen, eller undersøge hvordan det ville påvirke resultaterne at øge skrotningsandelen. Det er svært at vurdere konsekvenserne for det samlede samfundsøkonomiske resultat af at ændre disse forudsætninger, men det kan ikke afvises, at det kan have en effekt på fortrængningen af indenlandsk fossil produktion. Det er dog relevant at nævne, at modellen i

forvejen gør det muligt for producenterne at fortrænge indenlandsk fossil energi-produktion gennem lavere kapacitetsudnyttelse.

Valg af privatøkonomisk og samfundsøkonomisk kalkulationsrente vil altid være et emne for debat. Usikkerheden knytter sig bl.a. til forventninger om fremtidig vækst og teknologiudvikling, samt faglige diskussioner om diskonteringsmetode – bl.a. mht. i hvilken grad systematiske risici bør prissættes i samfundsøkonomiske vurderinger. Anvendes der en diskonteringsrate på 6 % i stedet for 3 % vægtes omkostninger til etablering således relativt højere end de løbende udgifter. I afsnit 6.1 foretager vi en følsomhedsanalyse af den samfundsøkonomiske kalkulationsrente. Derudover diskuterer og analyserer vi størrelsen af det privatøkonomiske afkastkrav i kapitel 8. Hvis den privatøkonomiske kalkulationsrente i virkeligheden er større eller mindre end 10 % vil det formentlig lede til anderledes investeringsforløb.



## 6. Følsomhedsberegninger

De samfundsøkonomiske omkostninger ved en udbygning af den danske vindkraft er nu blevet analyseret i forhold til en vindandel på hhv. 30, 40 og 50 % af det danske el-forbrug. I følsomhedsberegningerne tager vi udgangspunkt i 50 % scenariet og diskuterer betydningen af ændringer i centrale beregningsforudsætninger.

Følsomhedsberegningerne (i forhold til 50 % scenariet) er foretaget for valg af diskonteringsrate, brændselspriser, CO<sub>2</sub>-kvotepris og priser på vindmøller. Vi regner med tre forskellige typer af følsomhedsanalyse:

1. Diskonteringsraten: Der foretages en følsomhedsanalyse med alternative forudsætninger om størrelsen af den samfundsøkonomiske diskonteringsrate. Dette vedrører alene den samfundsøkonomiske analyse og ikke den egentlige investeringsmodel – og kan derfor opfattes som en partiel følsomhedsanalyse.
2. Vindmølleomkostninger: Modellen gensimuleres ved at anvende alternative værdier for vindmølleomkostninger. Dette har betydning for såvel den privatøkonomiske investerings-simulering og for den samlede samfundsøkonomiske analyse.
3. Brændsels- og CO<sub>2</sub>-priser: Resultatet robusthedstestes ved at ændre fossile brændsels- og CO<sub>2</sub>-priser, men fastholde investeringerne i ny kapacitet fra simuleringen med de centrale beregningsforudsætninger. Ændringer i brændsels- og CO<sub>2</sub>-priser forudsættes således forsimplet ikke at have betydning for, hvordan aktørerne forventes at reagere i simuleringen af investeringsadfærden. Derimod påvirkes de privatøkonomiske driftsomkostninger og dermed også den samfundsøkonomiske evaluering af investeringsforløbet. Derfor må denne følsomhedsanalyse også betragtes som partiel.

Der er altså ikke foretaget en egentlig usikkerhedsanalyse, hvor der testes for sandsynlige udfaldsrum af de enkelte variable, herunder mulig samvariation. I en udvidet analyse kunne det fx være relevant at se på mulig samvariation af fremtidige CO<sub>2</sub>-kvotepriser, brændselspriser og vindmøllepriser.

Det er udelukkende produktionen på de allerede eksisterende fossile værker, der påvirkes ved ændringer i fossile brændselspriser og CO<sub>2</sub>-kvoteprisen. Dog vil investeringerne i udlandet, især i Tyskland, blive påvirket væsentligt, hvis modellen gensimuleres (jf. punkt 2 ovenfor). Det skal bemærkes, at el-markedsprisen vil blive påvirket af ændret produktionsmønster i Danmark og ændret investerings-

mønster i vores nabolande. Disse effekter er der ikke taget højde for i robusthedsberegningerne.

Vi har valgt at anvende en konstant CO<sub>2</sub>-kvotepris over hele perioden 2010-2025 i både den centrale beregning (150 kr/ton) og følsomhedsberegningerne (75 og 300 kr/ton), hvilket er en forsimpning, da de internationale klimamål formentlig over tid bliver relativt mere ambitiøse end den teknologiske udvikling kan følge med til (hvilket vil give stigende kvotepriser). Dog indikerer følsomhedsberegningen, hvor der er anvendt en CO<sub>2</sub>-kvotepris på 300 kr/ton betydningen af stigende kvotepriser.

De respektive parametre er behandlet i afsnittene 6.1 til 6.4.

Resultatet af følsomhedsberegningerne og dermed effekten på den samfundsøkonomiske evaluering fremgår af Tabel 6.1.

Følsomhedsberegningerne viser, at

- De samfundsøkonomiske omkostninger stiger med 1,0 mia. kr., når der anvendes en diskonteringsrate på 6 % i stedet for 3 %.
- Konstante vindmøllepriser trækker forventeligt resultatet i den samme retning – de samfundsøkonomiske omkostninger ved vindkraftudbygningen stiger.
- Højere fossile brændselspriser og højere CO<sub>2</sub>-kvotepriser trækker i den modsatte retning – de samfundsøkonomiske omkostninger bliver lavere end nutidsværdien på 5,9 mia. kr. i referencescenariet. Eftersom dette er en partiel følsomhedsanalyse, kunne man dog forvente en endnu større effekt, hvis en højere CO<sub>2</sub>-kvotepris fx også fik indflydelse på de modellerede investeringsforløb.

Ændringen af beregningsforudsætningerne til højere CO<sub>2</sub>-kvotepriser (en fordobling fra 150 til 300 kr./ton) giver den største absolutte forandring i nutidsværdien, der ændres fra en samfundsøkonomisk omkostning på 5,0 mia. kr. til et samfundsøkonomisk plus på 1,7 mia. kr. Dog skal det nævnes, at ændringer i CO<sub>2</sub>-kvoteprisen formentlig ville få aktørerne til at ændre investeringsmønster, hvilket der ikke er taget højde for i denne følsomhedsanalyse. Tilsvarende er der ikke taget højde for eventuelle ændringer i el-priserne som følge af et ændret investeringsmønster.

Den næststørste absolutte ændring i nutidsværdien sker ved antagelsen om, at vindmøllepriserne ikke falder over tid. Konstante vindmøllepriser forøger den samfundsøkonomiske omkostning ved 50 % vindkraftscenariet markant til en



nutidsværdi på 10,9 mia. kr. Den nuværende prisbobles varighed (se afsnit 6.3) er altså meget afgørende for samfundsøkonomien i vindkraftudbygningen.

**Tablet 6.1 Følsomhedsberegninger: Effekten af ændring i centrale beregningsforudsætninger på de samfundsøkonomiske omkostninger (fordele ikke inkluderet) ved 50 % vindkraftudbygning**

Beregningsforudsætning	Samfundsøkonomisk evaluering af investeringsforløbet Mia. kr. (NV)	Yderligere infrastruktur Mia. kr. (NV)	Omkostninger til støttesystem (skatteforvridning) Mia. kr. (NV)	Totale omkostninger Mia. kr. (NV)	Forskel fra central beregning Mia. kr. (NV)
50 % vindkraft (central beregning)	-1,9	3,5	4,3	5,9	-
Samfundsøkonomisk diskonteringsrate 6 % (reference: 3 %)	1,4	3,1	2,4	6,8	+1,0
Højere brændselspriser 75\$/tønde (reference: 50 \$/tønde)	-5,3	3,5	4,3	2,5	-3,4
Lavere CO <sub>2</sub> -kvotepris 75 kr./ton (reference: 150 kr./ton)	1,4	3,5	4,3	9,2	+3,3
Højere CO <sub>2</sub> -kvotepris 300 kr./ton (reference: 150 kr./ton)	-9,9	3,5	4,3	-2,1	-8,0
Konstante vindmøllepriser (reference: faldende priser over tid)	0,86	3,5	6,5	10,9	+5,0

Beregningsforudsætninger for central beregning: 3 % diskontering, CO<sub>2</sub>-kvotepris på 150 kr./ ton, oliepris på 50 US\$/tønde, privatøkonomisk kalkulationsrente på 10 % og faldende vindmøllepriser over tid.

Kilde: Ea Energianalyse (2007c) samt egne beregninger.

### 6.1 Samfundsøkonomisk diskonteringsrate

Følsomhedsberegningen med anvendelse af en samfundsøkonomisk diskonteringsrate på 6 % i stedet for 3 % svarer til at anvende Finansministeriets anbefaling i deres officielle retningslinier (Finansministeriet 1999). Som diskuteret i Kjellingbro (2004) kan det argumenteres, at denne efterhånden bør nedjusteres uanset om den fastsættes på baggrund af en forbrugsdiskonteringsratetilgang eller en tilgang baseret på den forventede reale marginale samfundsøkonomiske afkastrate (Møller 2003). Det er dog stadig et relevant scenarium at gennemregne, dels fordi en sådan beregning sikrer konsistens med de officielle retningslinier, som andre analyser stadig følger – dels fordi der er usikkerhed om størrelsen af den samfundsøkonomiske diskonteringsrate. Denne usikkerhed knytter sig bl.a. til forventninger om fremtidig vækst og teknologiudvikling, samt faglige diskussioner om diskonteringsmetoden – bl.a. mht. hvordan systematiske risici bør prissættes i

samfundsøkonomiske vurderinger.<sup>11</sup> Dette kan enten ske via kalkulationsrenten eller via prissætning af de enkelte fordele og ulemper.

Et eksempel på relevansen af systematisk risiko i forbindelse med investeringer i el-systemet er, at mange investeringstyper i el-systemet er irreversible og har en lang levetid. For tilfældet med vindmøller (især havvindmøller) gælder desuden, at infrastrukturinvesteringernes samfundsøkonomiske værdi reduceres, hvis en anden el-produktionsteknologi slår igennem og gør vindmøller relativt mere ineffektive. Forskellen på de 3 og 6 % kan i så fald fx opfattes som en "ophørsrisikopræmie", der tager højde for de irreversible investeringer i el-systemet, eller med andre ord en systematisk risiko for at nuværende teknologier overhales af andre teknologier. Det kan dog diskuteres om denne risiko i givet fald vil være så markant.

Resultatet af følsomhedsberegningen viser som nævnt, at den samfundsøkonomiske omkostningsanalyse giver et estimat på nutidsværdien, der ligger 0,9 mia. kr. højere. Dette tal er altså ikke i væsentlig grad forskelligt fra den centrale analyse med en diskonteringsrate på 3 procent. Som diskuteret i forhold til alternative investeringer i el-produktion fra biomasse i afsnit 5.4 vægter omkostninger til etablering således relativt højere end de løbende udgifter ved en diskonteringsrate på 6 i stedet for 3 %. De høje etableringsomkostninger og meget lave løbende omkostninger til drift og vedligehold for vindmøller trækker derfor i retning af højere omkostninger ved 6 procent diskontering. Omvendt kommer de fremtidige samfundsøkonomiske skatteforvridningsomkostninger til at tælle mindre ved en diskonteringsrate på 6 %.

## 6.2 Følsomhedsberegning: Brændselspriser og CO<sub>2</sub>-kvotepriser

Den fremtidige udvikling i brændselspriser er ikke bare central for beregningen af de samfundsøkonomiske omkostninger ved vindkraftudbygningen, men er samtidig vanskelige at forudsige.

Som det fremgår af Figur 6.1 har Brændselspriserne varieret stærkt de seneste år. I 1986 lå prisen nede omkring 10 US\$/td., mens prisen i 2006 var oppe på næsten 70 US\$/td.

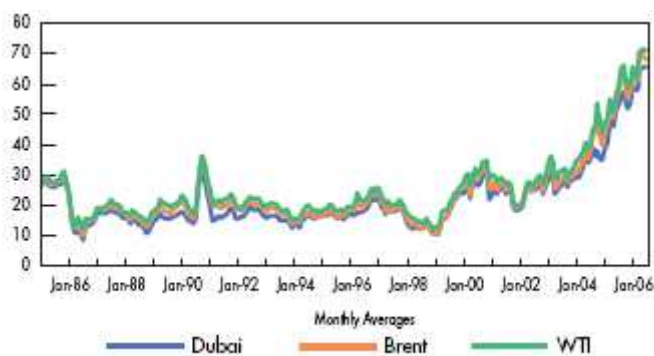
Dette viser vigtigheden af at foretage følsomhedsanalyser, hvor man varierer antagelsen om brændselsprisen. I Energi strategi 2025 lægger Energistyrelsen sig op ad det Internationale Energi Agenturs (IEA) forudsigelser fra 2004 (International Energy Agency & OECD 2004) med et centralt estimat på olieprisen på 29 US\$/tønne i 2025. I World Energy Outlook 2006 har IEA opjusteret sit centrale

---

<sup>11</sup> Systematisk risiko er risiko som varierer med andre projekter og de økonomiske konjunkturer i øvrigt

skøn til 55 US\$/tønne i 2025. Den høje oliepris i Energistyrelsens scenarier svarer altså til det centrale estimat i IEA's nye reference scenarium. Brændselspriserne, som vi har anvendt i vores studie samt Energistyrelsens og IEAs estimater ses i tabel 6.2.

Figur 6.1 Udviklingen i prisen på råolie, US\$/tønne



Kilde: IEA (2006)

Tabel 6.2 Brændselspriser i 2025.

Oliepris, US\$/td	Lav	Reference	Høj
IEA (2004) og Energistyrelsen (2005)	20	29	50
IMV (2007) – dette studie	-	50	75

Kilde: (Energistyrelsen 2005a; International Energy Agency 2006b; International Energy Agency & OECD 2004).

Note: Energistyrelsen har opjusteret deres centrale skøn i 2006 til 39 US\$/ton i 2025

Vores centrale skøn for råolieprisen er altså noget højere end niveauet anvendt i Energistrategi 2025 (Energistyrelsen 2005a). Omvendt svarer vores priser til priserne angivet i World Energy Outlook 2006 (International Energy Agency 2006b).

CO<sub>2</sub>-kvotepriiser: Prisen på CO<sub>2</sub>-kvoter i fremtiden er også vanskelig at forudsige, da mange faktorer spiller ind på prisen. Her kan brændselspriserne, den teknologiske udvikling og de kommende klimaforhandlinger fremhæves som tre vigtige faktorer.

Resultatet af de kommende klimaforhandlinger: Hvis en Post-Kyoto aftale fastsætter et strengere reduktionsmål end den nuværende aftale, vil udbudet af kvoter falde, hvilket vil øge kvotepriisen. Tilsvarende har det en betydning, hvis flere lande, eksempelvis Australien og USA, går med ind i en aftale.

Brændselspriserne: Stiger prisen på fossile brændsler meget vil prisen på CO<sub>2</sub>-kvoter sandsynligvis falde relativt, da efterspørgslen på fossile brændsler falder. Sammenhængen mellem brændselspriser og kvotepriiser er dog meget kompleks. Der er tre effekter af højere brændselspriser på fx olie: (1) kul/gas-prisrelationen

ændres; (2) efterspørgselen efter energi falder; (3) fossilt/VE-prisrelationen ændres. Den første effekt (ad 1) hvis kulprisen bliver relativt lavere medfører dette en højere kvotepris pga. en større anvendelse af det relativt mere CO<sub>2</sub>-intensive kul. De to øvrige effekter (ad 2 og 3) bidrager til en lavere kvotepris pga. en lavere kvoteefterspørgsel.

Teknologisk udvikling: Hvis CO<sub>2</sub>-frie eller mindre CO<sub>2</sub> intensive teknologier i højere grad anvendes, vil efterspørgslen efter CO<sub>2</sub>-kvoter falde og CO<sub>2</sub>-kvoteprisen ligeså.

Man skal dog være opmærksom på, at de to sidste effekter også virker den anden vej. En høj kvotepris kan således reducere prisen på fossile brændsler. Tilsvarende kan en høj kvotepris have en positiv effekt på den teknologiske udvikling/anvendelsen af nye teknologier. Endelig skal det understreges at kvotemarkedet ikke har eksisteret ret længe, hvorfor det er svært at udtale sig om hvilke faktorer, der spiller ind på kvoteprisen og i hvilken grad.

I Energistyrelsens Energistrategi 2025 (Energistyrelsen 2005a) anvender Energistyrelsen IEAs forudsætninger, hvilket er illustreret i tabel 6.3 (OECD 2005). I samme tabel ses de CO<sub>2</sub>-kvotepriser vi anvender i vores analyser.

**Tabel 6.3 CO<sub>2</sub>-kvotepriser i 2025.**

CO <sub>2</sub> rettigheder DKK/ton	Lav	Reference	Høj
IEA 2006 og Energistrategi 2025	52	150	300
IMV 2007, dette studie	75	150	300

Kilde: International Energy Agency (2006b)

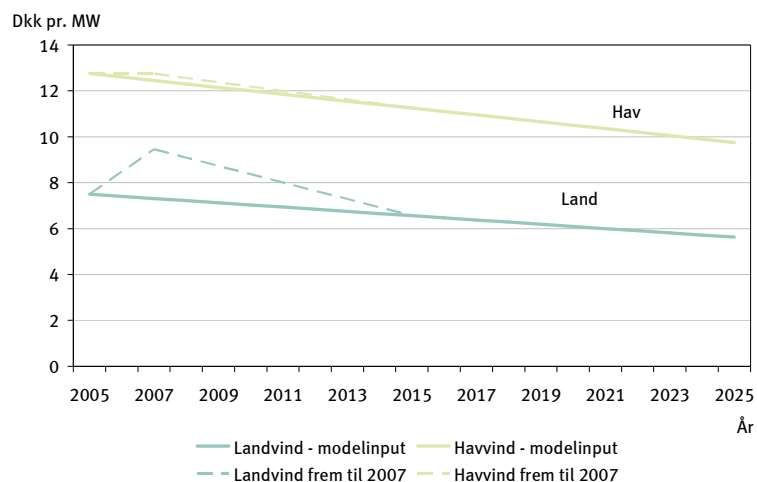
Det fremgår, at vi stort set anvender de samme CO<sub>2</sub>-kvotepriser, som Energistyrelsen. Dog er den lave CO<sub>2</sub>-kvotepris i vores følsomhedsberegninger ikke helt så lav som den, Energistyrelsen anvender.

### 6.3 Følsomhedsberegning: vindmøllepriser

De fremtidige investeringsbeslutninger er ikke kun afhængige af brændsels- og CO<sub>2</sub>-kvotepriser, men også meget afhængige af de fremtidige investeringsomkostninger for vindmøllerne. Vigtige faktorer i den sammenhæng er vindkraftens læreeffekter med forventningen om faldende produktionsomkostninger over tid. Som det fremgår af Skytte et al. (2004) er der god grund til at være forsigtig med forudsigelserne af investeringsomkostningerne for vind.

Dette forstærkes yderligere af, at de aktuelle investeringspriser for 2007 faktisk er steget pga. en efterspørgselsdrevet prisboble, jf. figur 6.2.

Figur 6.2: Investeringsdata for vindmøller.



Kilde: Ea Energianalyse (2007c).

Note: Der er antaget et lineært fald fra prisniveauet i 2005 til en estimeret pris i 2025. Estimatet i 2025 er baseret på (Energistyrelsen et al. 2005; OECD 2005). Figuren viser endvidere den prisstigning, som er sket fra 2005 til 2007.

En forklaring på ovenstående fænomen kan være en midlertidig prisboble, som er opstået pga. den pludselige stigning i efterspørgslen på vindmøller som følge af øget fokus på vedvarende energi og deraf følgende øgede støtteordninger i blandt andet Tyskland og England.

En umiddelbar bekymring kan være, at producentmarkedet vil få svært ved at følge med til den kommende udvikling i efterspørgslen – ikke mindst hvis flere lande går efter at øge deres vindandel betydeligt. Vi forventer dog, at markedet i sidste ende vil følge trop, men beslutningen om og planlægningen af nye vindmøllefabrikker og dertilhørende underleverandører kan muligvis være længere tid end for andre teknologier, hvilket potentielt set kan forlænge perioden med overnormale priser.

Vi har derfor foretaget følsomhedsberegningen, hvor investeringspriserne for vindmøller ikke falder i perioden. Derved beregner vi effekten af den situation, hvor lærereffekterne udlignes af en meget langsom markedstilpasning. Resultatet af denne følsomhedsanalyse var, som nævnt, markant højere estimerede samfundsøkonomiske omkostninger – nemlig 10,9 mia. kr. i nutidsværdi. Dette viser hvor følsom resultatet er overfor alternative forudsætninger mht. den fortsatte teknologiske udvikling og prisudvikling på vindmølleinvesteringer.

## 6.4 Opsamling

Som beskrevet i kapitel 5 ligger de samfundsøkonomiske omkostninger af øget vindkraft på mellem 0,2 og 5,0 mia. kr. afhængigt af vindkraftmålet. Fortolkningen af hvilket udbygningsscenarium (om noget), der er mest samfundsmæssigt ønskværdigt på baggrund heraf, skal ske med stor varsomhed. Dels skal miljøfordelene samt øvrige fordele og ulemper inkluderes i fortolkningen. Dels kan beregningsforudsætningerne og afgrænsningen af analysen alle diskuteres og påvirker hver for sig resultatet. Som følsomhedsanalyserne i dette kapitel har vist, kan analyseresultaterne variere meget med grundantagelserne.

Som det gælder for de fleste samfundsøkonomiske analyser, skal man derfor være opmærksom på disse usikkerheder i vurderingen af de politik-anbefalinger som følger af analysen i denne rapport.

## 7. Øvrige fordele og omkostninger ved vindkraftudbygning

Den samfundsøkonomiske omkostningsanalyse i kapitel 5 inkluderer ikke samtlige omkostninger ved en vindkraftudbygning. Mere væsentligt er, at samfundsøkonomiske fordele per definition ikke er inkluderet i den samfundsøkonomiske omkostningsanalyse. Sådanne fordele (især miljøfordele) inddrages i dette kapitel.

I dette kapitel perspektiveres estimatet af de samfundsøkonomiske omkostninger fra kapitel 5 således i forhold til følgende:

1. Miljøfordele: SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> (ikke partikler)
2. Øvrige fordele: Foregangsland, know-how, eksport, jobs, forsyningsikkerhed og forsigtighedsprincippet på klimaområdet.
3. Øvrige omkostninger: Visuelle gener, støj og effekter på biodiversitet samt dynamiske makroøkonomiske effekter.

De tre supplerende samfundsøkonomiske elementer beskrives og diskuteres i dette kapitel. Den kvantitative størrelse af miljøfordelene og de visuelle gener fra havvindmølleparker skitseres, mens resten af de øvrige fordele og omkostninger udelukkende beskrives.

### 7.1 Miljøfordele

Miljøfordelene ved vindkraft knytter sig til undgåede klima- og sundhedseffekter grundet en reduceret udledning af henholdsvis CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler.

I vores analyse af vindkraftudbygningen er miljøbelastningen delvist internaliseret, da el-producenterne skal købe CO<sub>2</sub>-kvoter i markedet og betale en SO<sub>2</sub>-afgift. Spørgsmålet er, om de anvendte priser på CO<sub>2</sub>-kvoter og SO<sub>2</sub>-afgiften er dækkende for den reelle samfundsøkonomiske skadesomkostning.

Nedenfor skitseres kort estimater på eksternaliteterne. Valget af beregningspriser for miljøbelastningen er genstand for megen diskussion. Især spørgsmålet om hvorvidt man skal vælge en estimeret skadesomkostning, eller den pris det koster producenten at forurene (eksempelvis kvoteprisen på CO<sub>2</sub> og afgiften på SO<sub>2</sub>). Ved brug af skadesomkostningen er værdisætningsmetoden for mistede liv eller tabte leveår af stor betydning.

I det følgende diskuteres, hvordan CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-forureningen indregnes i denne rapport. Partikelforureningen er ikke medregnet.

### 7.1.1 Drivhuseffekt (CO<sub>2</sub>)

CO<sub>2</sub>-eksternaliteten internaliseres ofte som en kvotepris i samfundsøkonomiske studier - hovedsageligt af to årsager:

1. Helt overordnet kan det argumenteres, at den reelle alternativomkostning for at nedbringe dansk CO<sub>2</sub>-udslip er at købe kvoter på det internationale kvotemarked – og den samfundsøkonomiske prissætning derfor bør fastsættes ud fra den forventede kvotepris. Under et CO<sub>2</sub>-kvotesystem har det ingen egentlig international CO<sub>2</sub>-effekt, om Danmark vælger at udbygge vindkraften eller ej. Det relevante spørgsmål er på hvilken måde Danmark mest omkostningseffektivt kan nå sine nuværende og kommende klimaforpligtigelser. Dog vil udbygningen med store mængder vindkraft kunne statuere et eksempel overfor resten af verden og på den måde have en mulig indirekte effekt, ved at de internationale reduktionsmålsætninger hæves i de kommende klimaforhandlinger.
2. Skadesomkostningen for CO<sub>2</sub> er meget vanskelig at bestemme, da der er stor uenighed omkring de skader, der kan forekomme ved den øgede CO<sub>2</sub>-udledning. Dette indikeres af de store forskelle i estimater af den marginale skadesomkostning. I Andersen et al. (2004), s. 48, præsenteres et spænd på 1 -1150 kr/ton CO<sub>2</sub> i et overblik over estimater fra seks forskellige studier (European Commission 2003; IPCC 2007; Nordhaus 1994). I (Tol 2004) fremgår det, at middelværdien af den marginale CO<sub>2</sub>-skadesomkostning er 91 kr/ton.

I denne rapport er der, som tidligere nævnt, anvendt en CO<sub>2</sub>-kvotepris som driftsomkostning for de fossile værker.

### 7.1.2 Luftforurening (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler)

Miljøfordele er i dette afsnit opgjort på baggrund af EU's CAFE-program.

En række videnskabelige og metodemæssige spørgsmål gør det problematisk at foretage en entydig og sikker vurdering af de samfundsmæssige omkostninger ved luftforurening fra en bestemt kraftværksteknologi. Blandt andet er spørgsmålet om værdisætning af tabte menneskeliv og værdisætning af statistisk liv kontroversielt og har været genstand for megen debat<sup>12</sup> (Ea Energianalyse 2006). Da der ikke er

---

<sup>12</sup> Det har eksempelvis stor betydning, hvordan man værdisætter merdødelighed i samfundet, specielt for tidlig død hos ældre mennesker da hovedparten af forureningsrelaterede dødsfald sker efter 60-års-alderen. Skal ældre menneskers død tillægges lavere værdi end dødsfald blandt yngre mennesker – og i så fald hvor meget lavere værdi? I den forbindelse ses to tilgange - VSL-tilgangen (Value of Statistical Life), hvor ældre mennesker liv tildeles en værdi omtrent på samme



konsensus om hvilken metode, der er mest rigtig præsenteres resultatet af begge tilgange.

I tabel 7.1 fremgår en differentiering i forhold til værdisætningsmetoden af liv (VOLY og VSL) og yderligere en differentiering af den type produktion, der fortrænges af vind. Den luftforurening, der fortrænges, afhænger af hvilke typer anlæg, der fortrænges produktion fra. Hvis vindkraften erstatter nye kul- eller gasfyrede kraftværker er fortrængningen relativt lav, da nye kraftværker er udstyret med en væsentlig bedre røgrenningsteknologi. Hvis vindkraften derimod erstatter eksisterende anlæg, er luftforureningsgevinsten betydeligt større.

**Tabel 7.1 Sammenligning af værdien af skadesomkostningen af SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler for hhv. kulfyrede og gasfyrede kraftværker beregnet efter de to forskellige metoder.**

Hvad fortrænges?	Lavt estimat for skadesomkostninger (VOLY-baseret)	Højt estimat for skadesomkostninger (VSL-baseret)
Nyt kulkraftværk	2 øre/kWh	4 øre/kWh
Nyt gaskraftværk	0,25 øre/kWh	1 øre/kWh
Gns. værker i dag	6 øre/kWh	17 øre/kWh

Kilde: (Ea Energianalyse 2007c)

Note: Beregningspriserne i tabellen er baseret på CAFE-studierne

I denne rapport opgøres de reducerede miljøomkostninger af en vindkraftsudbygning ved at beregne den simulerede fortrængte udledning i scenarierne. Der er i el-markedsmodellen Balmorel indlagt emissionsfaktorer for de forskellige kraftværker, som indgår. På baggrund af reduktionen af emissioner af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> kan miljøomkostningsreduktionen - som følge af vindkraftudbygningen - estimeres. Omkostningen ved SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> værdisættes som et interval med estimater beregnet på baggrund af henholdsvis VOLY- og VSL-metoden i CAFE-studiet. Der er således anvendt en skadesomkostning på 33-91 kr./kg for NO<sub>x</sub> og 39-113 kr./kg for SO<sub>2</sub>.

**Tabel 7.2 Samfundsøkonomiske omkostninger samt miljøfordele i Danmark ved udbygning af dansk vindkraft til 30, 40 og 50 % af det danske elforbrug**

Vindmål	Totale omkostninger Mia. kr. (NV)	Perspektivering: Miljøfordele Mia. kr. (NV)
30 %	0,3	0,5-1,3
40 %	1,9	0,8-2,1
50 %	5,9	1,0-2,9

Beregningsforudsætninger: 3 % diskontering, CO<sub>2</sub>-kvotepris på 150 kr./ ton, oliepris på 50 US\$/tønne, privatøkonomisk kalkulationsrente på 10 % og at vindmøllepriser falder over tid.  
Note: spændet i estimaterne for miljøfordelene skyldes to forskellige metodiske tilgange til værdisætning af menneskeliv.

Kilde: Ea Energianalyse (2007c) samt egne beregninger.

niveau som yngre, og VOLY-tilgangen (Value Of Life Years lost), hvor ældre tildeles en betydeligt lavere værdi, fordi de har færre år tilbage at leve i.

Baseret på disse grundforudsætninger om beregningspriserne på SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> fås en miljømæssig fordel ved vindkraftudbygningen for hvert af de tre vindkraftscenarier, som er angivet i højre kolonne i tabel 7.2.

Tabellen viser også resultatet af den samfundsøkonomiske omkostningsanalyse, som dermed kan sammenholdes med niveauet for miljøfordelene. Bemærk, at partikelforureningen ikke er inkluderet, hvilket betyder, at estimaterne alt andet lige er et underkantsskøn.

Sammenholdes den samfundsøkonomiske omkostningsanalyse med estimaterne for miljøfordelene ved fortrængt SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> får man følgende resultat:

- Udbygningen med vindkraft til 30 % af forbruget i 2025 giver et samfundsøkonomisk plus på 0,1 til 0,9 mia. kr. (nutidsværdi).
- Udbygningen til 40 % giver en samfundsøkonomisk omkostning fra 1,2 mia. kr. til et overskud på 0,1 mia. kr.
- Udbygningen med vindkraft til 50 % af forbruget i 2025 giver en samfundsøkonomisk omkostning i størrelsesordenen 3,0 til 4,9 mia. kr. (nutidsværdi).

Vindkraftudbygningen har dog ikke kun konsekvenser for SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>-udledningen i Danmark, jf. pointen om CO<sub>2</sub>-reduktionen i afsnit 5.3.1. Den øgede reduktion af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> i vores nabolande, som en konsekvens af den danske udbygning med vind, beløber sig til omkring 2,7-17 mia. kr. (NV) i de tre scenarier. Dvs. miljøfordelene overstiger omkostningerne i en nordisk afgrænsning af samfundsøkonomien..

**Tabel 7.3 Samfundsøkonomiske omkostninger samt miljøfordele i Nordpool (Det nordiske elmarked) ved udbygning af dansk vindkraft til 30, 40 og 50 % af elforbruget**

Vindmål	Totale omkostninger (inkl. sparede CO <sub>2</sub> -kvoter) Mia. kr. (NV)	Perspektivering: Miljøfordele Mia. kr. (NV)
30 %	0,5	2,7-7,8
40 %	2,0	4,4-13
50 %	6,0	6,0-17

Beregningsforudsætninger: 3 % diskontering, CO<sub>2</sub>-kvotepris på 150 kr./ ton, oliepris på 50 US\$/tønne, privatøkonomisk kalkulationsrente på 10 % og at vindmøllepriser falder over tid.

Note: spændet i estimaterne for miljøfordelene skyldes to forskellige metodiske tilgange til værdisætning af menneskeliv.

Kilde: Ea Energianalyse (2007c) samt egne beregninger.

Der sker altså betydelig reduktion af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> i resten af Nordpool-området, som har en miljøfordel, der mere end opvejer de samlede samfundsøkonomiske omkostninger. Miljøfordelene udtrykt ved intervallerne i tabel 7.3 er for alle tre scenarier større end omkostningerne. Kun i 50 % scenariet tangerer omkostningerne det nedre skøn for miljøfordelene ved NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub>.

Disse resultater peger på nødvendigheden af at analysere de samfundsøkonomiske effekter af udbygningen med vindkraft i et større geografisk perspektiv svarende til den geografiske afgrænsning af el-markedet.

Betydningen af en diskonteringsrate på 6 % i stedet for den centrale antagelse på 3 % i beregningerne ovenfor er beregnet for 50 % scenariet:

- I Danmark stiger de samfundsøkonomiske omkostninger fra 5,9 til 6,9 mia. kr., mens miljøfordelene falder fra et interval på 1,0-2,9 mia. kr. til et interval på 0,7-2,0 mia. kr. (nutidsværdier, 2006).
- I hele Nordpool området stiger de samfundsøkonomiske omkostninger fra 6,0 til 6,8 mia. kr., mens miljøfordelene falder fra et interval på 6,0-17 mia. kr. til interval på 4,1-12 mia. kr. (nutidsværdier, 2006).

## 7.2 Øvrige fordele

Der er yderligere en række fordele ved vindkraftudbygningen udover miljøfordelen, som ikke indgår i den samfundsøkonomiske omkostningsanalyse. Disse tre fordele skitseres nedenfor, men vil ikke blive kvantificeret.

### Danmark som foregangsland på klima- og energiområdet

Beslutningen om at udbygge dansk vindkraft til 50 % kan være motiveret af idealistiske principper og visioner, som ikke umiddelbart kan prissættes eksplicit. Dels opnår Danmark et image som grøn nation. Dels kan Danmark drive udviklingen af et intelligent el-system med store mængder vindkraft frem til eksempel og fordel for andre nationer. I 80'erne og 90'erne var Danmark katalysator for en global udvikling af vindkraft. Uanset om denne udvikling var forbundet med samfundsøkonomiske meromkostninger eller ej for Danmark, har den danske udvikling været med til at billiggøre og igangsætte en global udvikling indenfor vindkraft. Det kan dog diskuteres om vindkraft stadig bør betragtes som en industri, der endnu ikke er 'moden', og som af den grund bør støttes ind til den bliver i stand til at konkurrere på markedsvilkår.

Foregangsland-argumentet relaterer sig til udviklingen af et el-system med store mængder vindkraft samt udviklingen af selve vindmølleteknologien. Desuden vil Danmark som foregangsland have større mulighed for at påvirke de internationale klimaforhandlinger i retning af mere ambitiøse CO<sub>2</sub>-reduktioner. Herunder hører således også argumentationen om forsigtighedsprincippet og hensynet til kommende generationer.

### Know-how, eksport og beskæftigelse

Danmark vil være det første land i Verden, der øger sin vindkraftandel til 50 % af el-forbruget. Dermed er Danmark helt fremme på indpasning af vindkraft i energi-

systemet og produktion af vindmøller. Fordelen herved er, at Danmark bibeholder sin styrkeposition indenfor miljøteknologi, som vil kunne omsættes i øget eksport og mere vellønnede jobs. Man skal dog være opmærksom på, at den samfundsøkonomiske investering kan have givet det samme eller et endnu større afkast i andre sektorer, se f.eks. Grønne Veje til Vækst (Institut for Miljøvurdering 2006). Det er en central diskussion hvorvidt en sådan styrkeposition i virkeligheden kan vise sig at være en samfundsøkonomiske ulempe. Det er ikke en diskussion, det er muligt at forfølge indenfor rammerne af denne rapport.

### Forsyningssikkerhed

Der er to former for forsyningssikkerhed. Den ene er brændselsforsyningssikkerhed, hvor fordelene ved vindkraft er, at Danmark bliver mindre afhængig af import af fossile brændsler. Dermed bliver Danmark også mindre sårbar overfor prisstigninger på fossile brændsler. Den anden er el-forsyningssikkerhed, som faktisk bliver forringet ved store mængder vind, da Danmark enten bliver afhængig af import af el fra vores nabolande eller indenlandsk back-up kapacitet, når det ikke blæser. Som en del af et integreret, nordisk el-marked vil Danmark næppe have brug for indenlandsk back-up kapacitet.

### 7.3 Øvrige omkostninger

Den samfundsøkonomiske omkostningsanalyse i kapitel 5 omfatter ikke alle omkostninger ved vindkraftudbygningen. De væsentligste er dog inkluderet. Øvrige omkostninger omfatter negative eksternaliteter i form af visuelle effekter, støjgener samt vindmøllers effekter på biodiversitet. Desuden vil der være makroøkonomiske effekter på den øvrige økonomi, specielt ved en substantiel udbygning til 50 %.

#### 7.3.1 Visuelle eksternaliteter

Få studier har beskæftiget sig med visuelle eksternaliteter ved vindenergi. Visuelle effekter er forbundet med antallet og størrelsen af vindmøller i en given vindmøllepark og af landskabet, som møllerne stilles op i. Afstanden til bygninger og i særdeleshed boligområder har også betydning i og med, der kan forekomme refleksioner fra vingernes bevægelser (Jordal-Jørgensen 1995), Endelig har beskuerens holdning til, at landskabet "forstyrres", en stor betydning (Ladenburg et al. 2005).

ExternE (1997) estimerer ved hjælp af husprismetoden de visuelle effekter ved vindenergi til mellem nul og 0,13 øre/kWh (Schleisner & Nielsen 1997). I Jordal-Jørgensen (1995) er den samlede omkostning ved visuelle effekter og støj estimeret. Husprismetoden giver en omkostning på knap 1 øre per kWh, hvorimod interviewmetoden når frem til en omkostning på 0,04 øre per kWh. Disse resultater er også refereret i Munksgaard et al. (1995). Som den eneste har Ladenburg et al

(2005) estimeret betalingsvilligheden i Danmark for at reducere visuelle effekter af havvindmøller. Et interessant resultat i Ladenburg et al. (2005) er, at befolkningen i et område med havvindmøller tæt på land havde markant højere betalingsvillighed for at få placeret møllerne ude af syne. Et andet resultat er, at de samfundsøkonomiske omkostninger ved visuelle eksternaliteter ved vind opgøres til 19 øre/kWh

På den anden side taler følgende to forhold imod at inddrage visuelle eksternaliteter fra havvindmøller.

1. Europa Kommissionen og European Wind Energy Association hæfter sig ved, at det er muligt at planlægge sig ud af de negative visuelle effekter ved vindenergi (European Commission 2003; European Wind Energy Association 2005)
2. Der er ligeledes negative visuelle effekter af fossile anlæg, der ikke er kvantificeret, og det antages at disse udligner de negative visuelle effekter ved vindenergi (DONG Energy et al. 2006; European Commission 1999; European Commission 2005; Larsen & Munksgaard 1996; Schleisner & Nielsen 1997)

### 7.3.2 Biodiversitet.

Schleisner & Nielsen (1997) finder, at hverken havvindmøller eller landvindmøller har negative effekter af betydning på dyre og fulgeliv. I et nyt studie konkluderes det, at livet i havet kan blive påvirket af havvindmøller – dog i eventuel positiv retning. Af disse årsager mener vi, at man kan se bort fra effekter på biodiversiteten i analyser på vindmølleområdet.

### 7.3.3 Støjgener

Eventuelle støjgener kommer fra møllevingerne, gearkassen, generatoren og det hydrauliske system. Kommer møllen 200-300 m væk, vil larmen blive reduceret til stille baggrundsstøj, selvom der tages højde for, at lyden er der konstant (European Wind Energy Association 2005). ExternE (1997) har værdisat støjgenerne til mellem 0,003 og 0,01 øre/kWh (Schleisner & Nielsen 1997). De fundne estimater for støjgener er meget lave. I tillæg hertil går udviklingen i retning af endnu mere støjsvage møller. Endelig vil der slet ikke støjgener, hvis møllerne er placeret på havet. Af disse årsager medtager vi ikke effekten af eventuelle støjgener i vores studie.

#### **7.3.4 Dynamiske makroøkonomiske effekter**

Analysen er partiel, dvs. at den ikke medtager makroøkonomiske effekter udover et groft estimat af skatteforvridningstab. De mest oplagte makroøkonomiske effekter i denne sammenhæng er de afledte konsekvenser af stigninger eller fald i el-prisen og effekten af forskelligt investeringsomfang i de forskellige scenarier. De makroøkonomiske effekter af vindmølle-subsidiernes finansiering er inkluderet i omkostningsanalysen. Med mindre der iværksættes kontraktive tiltag, vil såvel reducerede el-priser som øgede investeringer - i et Keynesiansk perspektiv - forventes at have en ekspansiv effekt.

En del af de makroøkonomiske effekter pga. udviklingen i priserne vil blive realiseret i de andre lande, der er knyttet til Nordpool (Norge, Sverige og Finland).

## Del III Barrierer og virkemidler

I del III præsenteres en analyse af hvilke barrierer der ligger bag den nuværende stagnation i udbygning med vindkraft, samt en diskussion af hvilke virkemidler der skal til for at nå evt. vindkraftmål.





## 8. Barrierer og virkemidler

Hvorfor er udbygningen med vindmøller gået i stå? Hvad skal der til for igen at få sat gang i vindkraftudbygningen, så det bliver muligt at nå regeringens mål om, at 50 % af det danske energiforbrug i 2025 skal komme fra vedvarende energikilder? Disse spørgsmål bliver undersøgt i dette kapitel.

Undersøgelsen bygger på en analyse af de aktører, som har interesser i vindkraft, og som har mulighed for at påvirke de vilkår, vindkraftudbygningen skal ske på. Vi undersøger også de barrierer, som personer beskæftiget i vindmøllebranchen opfatter som hindringer mod en fortsat udbygning med vindmøller. Endelig foreslår vi en række nye styringsmidler, som kan øge vindkraftudbygningen.

### 8.1 Aktøranalyse

I dette afsnit undersøger vi, hvilke aktører, som har interesse i og indflydelse på vindkraftudbygningen. Hvad er deres interesser, og hvilke fordele og ulemper har de af en fortsat udbygning med vindmøller? Analysen er vigtig for at kunne forstå hvilke barrierer, der eventuelt er mod fortsatte investeringer i vindkraft og for at kunne tilrettelægge en støttepolitik, som ikke alene tilgodeser vindmølleejeren, men alle aktører, som bliver påvirket af, at et vindmølleprojekt bliver gennemført.

#### 8.1.1 Økonomisk velfærdsteori

Det teoretiske grundlag for aktøranalysen findes i den økonomiske velfærdsteori. Selvom man i en cost-benefit analyse kan påvise et samfundsøkonomisk overskud af et projekt (fx en vindmølleinvestering), kan der sagtens være parter, som lider et velfærdstab ved at projektet gennemføres. Kriteriet i cost-benefit analysen er Kaldor-Hicks kompensationskriterium, som betyder, at de, som har nytte af projektet, rent hypotetisk skal være i stand til at kompensere dem, som lider et velfærdstab ved at projektet gennemføres. Samtidig skal de stadig have nytte af projektet. At kompensationen er hypotetisk betyder, at den ikke behøver at ske i praksis. Om der skal gives kompensation til de, som lider tab, er et politisk - ikke et økonomisk spørgsmål. Politiske fordelingshensyn afgør, om der fx skal gives kompensation for generne ved at være nabo til en vindmølle, man ikke selv ejer. Hidtil er dette ikke sket, selvom generne udgør en meget lille omkostning i forhold til de samlede samfundsøkonomiske omkostninger ved at producere vindkraft, jf. afsnit 7.3.

Dette eksempel er en illustration af et relevant fordelingsproblem: Landmanden glæder sig over sin vindmølle, fordi den giver ham en god indtjening takket være økonomisk støtte til produktionen, hvorimod naboer føler sig genereret af støjen og de visuelle gener fra vindmøllen.

Selvom et vindmølleprojekt samfundsøkonomisk set kan være en god investering, så kan der være interessegrupper (fx naboer til vindmøller), som vil modarbejde

projektet. Hvem disse grupper er, og hvad deres interesser er, vil kort blive belyst i dette afsnit.

### 8.1.2 Hvilke aktører er der?

Vi har identificeret ni aktører, som beskrives i det følgende.

**Vindmølleejeren:** Vindmølleejerne ejer og driver vindmøllen eller vindmølleparken. Ejeren er interesseret i størst mulig forrentning af vindmølleinvesteringen og i mindst mulig usikkerhed omkring investeringens afkast. Dette betyder, at afkastet minus risikopræmie skal være større end markedsrenten. Der findes forskellige typer af ejerskaber. Privat ejer af enkelt mølle (fx landmand), vindmøllelaug og DONG Energy (havvindmølleparker). Risici spiller den største rolle for de mindre, private investorer, som sætter deres egen økonomi på spil og ikke virksomhedens eller aktionærenes økonomi. DONG's interesse i vindkraft afspejler en interesse i at opbygge en energiportefølje, der giver en robust indtjening. DONG er interesseret i at lokalisere investeringer i vindkraft de steder, hvor afkastet er højest, fx i England. Det kan være relevant at skelne mellem gamle og nye ejere af vindmøller på land. De gamle ejere investerede i vindmøller før el-reformen blev vedtaget. Nye ejere må investere i vindmøller på markedsvilkår, dvs. sælge el til markedspris plus et pristillæg på 10 øre per kWh, hvor gamle ejere er garanteret en høj el-afregningspris. Det er klart, at nye ejere løber en risiko med hensyn til svingninger i markedsprisen på el, som gamle ejere i en 10-årig overgangsperiode er skærmet af for.

**Den systemansvarlige:** Energinet.dk er i Danmark ansvarlig for udbygning og drift af el-nettet og for forsyningssikkerheden. Selskabet skal sørge for, at vindmøller bliver forbundet med el-nettet, dvs. etablere et kabel, der forbinder vindmøllen med nettet, hvis kablet ikke findes i forvejen.

For de vindmølleejere, som ikke selv afsætter strømmen, aftager den systemansvarlige strømmen til den garanterede afsætningspris og opkræver pengene hos el-kunderne.

Som offentligt forsyningsmonopol reguleret under "hvile-i-sig-selv"-princippet kan Energinet.dk overvælte alle omkostninger fra vindmøllerne i el-prisen til el-kunderne. Selvom vindmøllerne derfor ikke påfører Energinet.dk et økonomisk tab, så er interessen i vindkraft formentlig påvirket af, at vindkraften er vanskeligere at indpasse i el-systemet end traditionelle, store kraftværker.

**Elkunderne:** El-kunderne består af husholdninger og virksomheder. De er interesserede i lave priser på el og i en sikker el-forsyning. Støtten til vindmølleejerne (den høje, garanterede afregningspris og pristillægget på 10 øre per kWh) øger el-kundernes afregningspris med godt 5 øre per kWh sammenlignet med markedsprisen.

sen på el (Munksgaard & Schiöppfe 2006). Merprisen er lille sammenlignet med en kundepris på omkring 1,5-2 kr. per kWh, men er stor, når man gør den op over året og for alle el-kunder. El-kunderne betaler således en merpris på omkring 2 mia. kr. om året som støtte til vindmøllejerne. Omvendt reducerer vindkraften i perioder prisen på el. I 2005 har vindmøllerne formindsket el-forbrugernes regning med ca. 1 mia. kr. (Enevoldsen et al. 2006). El-kunder med en positiv holdning til miljøet vil formentlig være villige til at betale merprisen og måske endda en merpris, som er endnu højere, hvis de dermed kan få garanti for, at de køber el, der stammer fra vedvarende energi. Andre kunder kan have den nøgterne holdning, at hvad der er sparet på el-prisen er tjent til forbrug. Også forsyningssikkerheden spiller en stor rolle for el-kunden – at han kan være sikker på at få leveret strøm, når han har brug for den. På det punkt vil han ikke acceptere, at muligheden for at få leveret strøm afhænger af, om det blæser eller ej. Han vil have leveret strøm, når han har behov for det og være villig til at betale for den forsyningssikkerhed, som den systemansvarlige kan levere.

**Naboer til vindmøller:** De største modstandere af vindmøller måske naboerne til vindmøllerne. De kan være generet af vindmøllerne pga. af støjgener og visuelle gener. Omkostningerne ved generne er blevet undersøgt i en række studier, jf. afsnit 7.3. Naboer kan frygte et økonomisk tab i form af en lavere huspris ved evt. salg. Modstanden fra naboer kan påvirke en kommunes holdning til udbygningen med vindmøller.

**Kommunerne:** Kommunernes skal udpege områder, hvor vindmøller kan placeres. Kommunens holdning vil være præget af, om mange borgere i kommunen, der føler sig generet af vindmøllerne. Hensynet til de (få) ejere vil formentlig veje mindre, ikke mindst hvis ejeren ikke bor i kommunen. Endvidere føler kommuner sig ikke nødvendigvis forpligtet af den nationale miljøpolitik.

**Staten:** Staten har flere hensyn i forhold til vindmøller. Et hensyn er opfyldelse af nationale klima- og miljømål, fx i forhold til klimaaftaler og til EU's energi- og miljøpolitik. Et andet hensyn er indtægten fra skatter og afgifter, dvs. provenuet i statskassen. Omlægningen af støtten til vindmøllejerne fra finansloven til el-kunderne er et eksempel på statens interesse i at begrænse statens udgifter.

**Vindmølleproducenter:** Vindmølleproducenterne har en interesse i, at støtteordningerne til vindmøllejerne er så gunstige som overhovedet muligt. Dette giver mulighed for højere vindmøllepriser og større afsætning af vindmøller og derved en større indtjening. Der er tegn på, at støtteordningerne har haft denne effekt på vindmøllepriserne, som i løbet af de sidste par år er steget med omkring 20 %, jf. figur 6.2. Salget af vindmøller stiger kraftigt i lande som fx Tyskland, Spanien, Italien og England, hvorimod salget i Danmark næsten er gået i stå. Kombinationen

af støtte til vindmølleejere og en markedsdominerende vindmølleproducent som Vestas er uheldig. Dette skaber nemlig gode betingelser for at støtten til vindmøllejerne kan havne hos vindmølleproducenten i form af en overnormal indtjening. Denne markedsdominans bør konkurrencemyndigheden overvåge.

**Danskere i almindelighed:** Kan have forskellige holdninger til vindmøller. Alle har dog fordel af miljøgevinsten ved at el produceres på vindmøller i modsætning til traditionelle kraftværker, som forurener med SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler.

**Danmarks nabolande:** Sverige, Norge og Tyskland har både en forretningsmæssig og en miljømæssig interesse i en dansk vindkraftudbygning. Via el-nettet er Danmark forbundet med nabolandene, og nettet danner baggrund for handel med el. Den store danske vindkraft- og kraftvarmeudbygning betyder, at det på blæsende og kolde vinterdage med stor sandsynlighed vil være muligt at købe meget billig el i Danmark sammenlignet med den nationale el-pris i de tre lande. Der vil med andre ord være mulighed for, at nabolandene får en økonomisk gevinst ved at handle el med Danmark. En gevinst som forstærkes af, at vindkraftproduktionen vil presse prisen på CO<sub>2</sub>-kvoter nedad. Derudover er der en miljøfordel af, at den luftbårne forurening med SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> fra de traditionelle danske kulkraftværker bliver reduceret, ikke mindst i Sverige.

### 8.1.3 Tabere og vindere ved udbygningen med vindkraft

Uanset om udbygning med vindmøller er en god eller dårlig forretning for samfundet, skal man være klar over, at nogle aktører har fordele ved en øget udbygning med vindmøller, mens andre aktører har ulempe ved den. Politikere bør være forberedt på, at vindkraftudbygningen kan møde modstand blandt de grupper i befolkningen, som ikke ser en fordel i vindkraftudbygningen. Der kan fx være tale om naboer til vindmøller eller kommuner, som bliver pålagt at lave planer for udbygning med vindmøller.

Når der opstilles nye vindmøller, er vinderen først og fremmest vindmølleejeren, som får et afkast af sin investering. Også producenten af vindmøller har glæde af, at der opstilles flere vindmøller. Det giver mulighed for øget indtjening – ikke mindst, hvis der gives betydelig støtte til vindmøllejerne. Vindere er også Danmarks nabolande – Sverige, Norge og Tyskland – som får mulighed for at købe el til lavere priser end ved traditionel el-produktion. Vores nabolande har også fordel af en mindre luftforurening fra de danske kraftværker. Danskerne i almindelighed får glæde af den mere miljøvenlige el-produktion fra vindmøllerne, men betaler som el-kunder også en højere el-pris. Staten (regeringen) har fordel af vindkraftudbygningen bidrag til at opfylde internationale og nationale miljømål.

Taberne ved vindkraftudbygning på land er først og fremmest naboer til vindmøller, som vil kunne blive udsat for støj og visuelle gener fra vindmøllerne og for

lavere huspriser. Det er kommunerne opgave at planlægge vindkraftudbygningen på land. I denne planlægning skal der prioriteres mellem vindmølle ejerens interesse i en god indtjening og naboers gener fra møllerne. Sagen står selvfølgelig anderledes, hvis der er tale om et vindmøllelaug med en bred lokal ejerkreds. Elkunder – både private og erhvervs kunder – kan også betragtes som tabere, hvis de alene lægger vægt på billig energi og ikke er villige til at betale mere for grøn el. I det støtten til vindmøllejerne opkræves på el-regningen i form af såkaldt PSO betaling, bliver den pris el-kunden må betale for strømmen bliver højere end markedsprisen.

## **8.2 Barrierer: Hvorfor er vindkraftudbygningen gået i stå?**

Siden 2003 er udbygningen med vindmøller på land praktisk taget gået i stå. Men hvorfor er den det? Er økonomien ved at investere i vindmøller for dårlig, eller er kommunerne ikke interesseret i en yderligere udbygning med vindmøller?

I dette afsnit undersøger vi barrierer for yderligere udbygning med vindmøller. Med barrierer mener vi forhold, som forhindrer eller modvirker udbygningen med vindenergi. Undersøgelsen baserer vi på

1. interview med personer beskæftiget i den danske vindmøllebranche i bred forstand
2. en investeringsanalyse af økonomien i vindmøller.

Resultaterne af de to undersøgelser peger i hver sin retning. Interviewundersøgelsen peger på, at økonomiske barrierer er af afgørende betydning. Investeringsanalysen viser, at investering i vindmøller typisk giver et afkast på omkring 10 %.

### **8.2.1 Interviewundersøgelsen**

Det er påfaldende, at reduktionen i vindkraftudbygningen i Danmark skete samtidig med, at støtteordningerne blev forringet. Det er derfor nærliggende at antage, at den mindskede lyst til at investere i nye vindmøller skyldes den ændrede afregning af vindmøllestrøm. For at få af- eller bekræftet denne hypotese og samtidig få et bredere billede af hvilke barrierer, der har haft mest betydning for den danske udbygning med vindenergi, er der gennemført interviews med interessenter i Danmark. Interviewundersøgelsen er baseret på svar fra repræsentanter fra syv rådgivningsvirksomheder, fire vindproducenter, tre universiteter, to myndighedsorganisationer og to interesseorganisationer (Se bilag 1 for deltagerne i interviewundersøgelsen).

Spørgeskemaet, som har dannet baggrund for interviewene, indeholder otte spørgsmål om barriererne ved udbygning af vindmøller i Danmark. Vi har fået i alt 18 besvarelser. Der er en overvægt af besvarelser fra rådgivningsvirksomheder,

men i fortolkningen af besvarelsene har vi forsøgt at lægge vægt på at gengive den generelle opfattelse. Vi har beskrevet nuancer i de tilfælde, hvor der har været uenighed blandt respondenterne. Besvarelsene er baseret på et scenarium med udbygning af landvindmøller.

Størstedelen af de adspurgte mener, at årsagen til den manglende udbygning med danske vindmøller er, at støtten er blevet reduceret inden for de sidste par år. Derved er afregningspris på vindmøllestrøm blevet lavere, og 15 ud af de 18 respondenter mener, at den nedsatte afregningspris er en afgørende årsag til afmatningen i vindmølleinvesteringerne.

Den administrative planlægning nævnes også som en afgørende barriere. Med administrativ planlægning menes der den planlagte placering af vindmøller. De gamle amters langsommelige behandling af sager er blevet nævnt af flere respondenter som en barriere. Også kommunernes behandling af byggetilladelser nævnes som en administrativ barriere.

Ud over de ovenstående barrierer nævner de adspurgte også yderligere årsager til reduktionen i vindkraftudbygningen. En respondent nævner, at der mangler lokalpolitikere, der vil varetage vindmølleinvestorenes interesser. De siddende lokalpolitikere er bange for at genere borgerne og derved miste stemmer. Han mener også, at der burde gives compensation for gener i forbindelse med opstilling af vindmøller i nærområderne. Endvidere nævner en respondent manglende energipolitiske målsætninger, og at myndighederne ikke er målrettede nok. Som eksempel fremhæver han den manglende politiske reaktion på rapporter, der kommer med politiske råd og vejledning omkring vindmølleproblematikken.

Det nævnes også, at det er administrativt meget tungt at planlægge områder med nye møller, da de gamle amter/nye kommuner ikke vil have flere møller sat op. Han siger også, at der er implementeringsmæssige uoverensstemmelser mellem regeringens og amternes målsætninger. Dette betragter han som en betydelig barriere.

Endelig nævnes det, at skrotningsordningen har indvirket negativt på opsætning af nye møller. Det skyldes, at kommunerne bestemmer, hvilke møller der skal nedtages, og ejeren af møllen forlanger ofte mange penge for at "sælge" den gamle mølle til investorer - op til 3 mio. kr. sammenlignet med en skrotningspræmie på 1,4 mio. kr. Det giver derfor et økonomisk tab at opsætte en ny mølle, da det ikke er muligt at opstille en ny mølle uden, at en gammel tages ned i samme kommune.

### 8.2.2 Rangordning af barriererne

Respondenterne har rangordnet fire overordnede typer af barrierer: Økonomiske, administrative, sociale samt tekniske.

- Økonomiske: Er afregningsprisen og afkastet af investeringer i vindenergi for lave?
- Administrative: Er kommunernes håndtering af ansøgninger samt udarbejdelse af lokalplaner en hindring?
- Sociale: Er der samfundsmæssig modstand mod udbygningen af vindenergi, f.eks. i form af klager i lokalområdet?
- Tekniske: Er der tekniske barrierer ved at udbygge vindkraften op til 50 %?

En rangordning af barriererne viser, at de økonomiske barrierer har størst betydning for udbygningen af vindmøller. Dernæst kommer de administrative barrierer. De sociale og de tekniske barrierer indtager en delt tredjeplads. Der er dog en del uenighed om, hvorvidt der eksisterer sociale barrierer.

**Tablet 8.1. Rangordning af barriererne**

Placering	Økonomiske	Administrative	Sociale	Tekniske
1. Størst betydning	11	4	1	1
2. Stor betydning	6	9	6	3
3. Mindre betydning	-	1	6	5
4. Mindst betydning	-	2	2	1
5. Ingen betydning	-	1	1	7

Kilde: Egen interviewundersøgelse.

Flere respondenter nævner, i lokalområder i nærheden af allerede etablerede vindmøller er modstand mod flere møller, mens den generelle holdning i Danmark er opbakning til mere vindenergi. Modstanden opstår i det øjeblik vindmøllen skal placeres i nærområdet, hvor lokalpolitikere tøver med at tage beslutninger om placeringer af vindmøller. Der er en del besvarelser, der peger i retning af, at der ikke eksisterer tekniske barrierer for udbygningen. Dette skyldes formentlig, at Energinet.dk er forpligtet til at forbinde nye vindmøller til nettet.

**Tablet 8.2 Rangordning af økonomiske barrierer**

Placering	For lav forrentning	For store risici	Manglende finansiering	Manglende tillid
1. Størst betydning	12	6	-	-
2. Stor betydning	5	5	-	-
3. Mindre betydning	-	-	2	1
4. Mindst betydning	-	-	1	1
5. Ingen betydning	-	6	14	15

Kilde: Egen interviewundersøgelse

Blandt de økonomiske barrierer spiller for lav forrentning og for store risici ved investeringer i vindmøller den største rolle. Mange svarer, at manglende finansieringslyst samt manglende tillid blandt investorer/banker ingen rolle spiller. Den

manglende tillid eksisterede måske for 20 år siden, men absolut ikke i dag, som Per Lauritsen fra VINDenergi udtrykker det.

### 8.2.3 Investeringer i vindmøller – kan det betale sig?

I det følgende beskrives resultaterne fra en investeringsanalyse foretaget i denne rapport.

Hvis der skal være incitament til at investere i vindmøller, skal investeringen give et fornuftigt afkast set over vindmøllens samlede levetid på omkring 20 år. Hvad er et fornuftigt afkast? Med de risici, der er forbundet med at investere i vindmøller (fx den fremtidige el-pris, vedligeholdelsesomkostninger og nye politiske aftaler), vil en professionel investor kræve et afkast, som er højere end markedrenten. Ofte betragtes den lange obligationsrente som markedrenten, fordi den indebærer meget lille risiko og repræsenterer et stort marked. Overvejer en investor at investere i vindmøller, vil han sammenligne afkastet med markedrenten og kræve en risikopræmie (en højere rente) som kompensation for at løbe en potentiel risiko for at tabe penge på investeringen i vindmøller.

Hvis en investor fx forventer, at den lange obligationsrente vil ligge omkring 6 %, vil han kræve et afkast på mindst 10 % af sin vindmølleinvestering for at dække den risiko, han påtager sig, såfremt han vurderer, at risikopræmien skal være på 4 % oven i markedrenten. I ECON 2005 blev 10 % anvendt som krav til den private investors forrentning af en vindmølleinvestering (ECON Analyse 2005). Til sammenligning blev der diskonteret med både 6 % og 3 % i en samfundsøkonomisk analyse lavet af ECON. I tabel 8.3. er resultatet af investorens analyse vist. Analysen viser, hvor stort afkast en investor kan forvente, når han investerer i en ny 2 MW vindmølle. Der er vist tre eksempler: En vindmølle, der opføres på land med obligatorisk støtte på 10 øre per kWh; en vindmølle opført på land under skrotningsordningen og en havvindmøllepark svarende til den kommende Rødsand II. Afkastet af vindmølleinvesteringen er vist for tre alternative prognoser for markedsprisen på el: Energistyrelsens prisprognose, som forventer, at el-markedsprisen frem til 2025 stiger fra 25 øre til knap 40 øre per kWh (basis), en halvering af denne prisprognose (lav) og endelig en prisprognose, som er 50 % højere end Energistyrelsens prognose (høj).

Analysen viser flere interessante resultater:

For det første, at de tre forskellige støtteordninger sikrer et reelt afkast på mellem 9 og 11 %, hvis investor har samme forventning til el-markedsprisens udvikling, som Energistyrelsen har (basis). Der er altså tale om et afkast, der ligger over markedrenten og har plads til en risikopræmie.



For det andet, at den lave prisprognose (-50 %) ikke giver et tilstrækkeligt afkast af investeringen i landvindmøller. Investeringen i havvindmøller giver et afkast på 7 % reelt, hvilket nok er lavt, men dog højere end markedsrenten.

For det tredje, at afkastet af investeringen i havvindmølleparken er meget robust over for svingninger i el-markedsprisen. Det skyldes, at der ydes en favorabel prisgaranti i den første del af vindmøllernes levetid. Derved er prisen i en meget lang periode afkoblet fra markedsprisen. Det omvendte gælder for vindmøller på land, hvor en nær kobling til el-markedsprisen bevirker, at afkastet af investeringen bliver langt mere følsomt over for svingninger i el-prisen.

**Tabel 8.3 Intern rente af investering i en vindmølle – tre eksempler og tre el-pris prognoser**

Vindmølle type	Afregningspris per kWh	Intern rente i % p.a. ved tre el-prisprognoser:		
		Basis	Høj	Lav
Vindmølle på land	Markedspris + 10 øre per kWh	9,1	15,3	1,5
Vindmølle på land	Skrotningsordning	10,8	13,0	3,6
Havvindmøllepark Nysted-Rødsand II	Først prisgaranti, dernæst markedspris	9,2	10,8	7,1

Note: Basis prognosen for el-markedsprisen svarer til Energistyrelsens prognose.

Beregningerne i tabel 8.3 er baseret på de høje møllepriser som ses i markedet i øjeblikket. For en landvindmølle antager vi, at investeringsomkostningen er 8.700 kr. per MW og for en havvindmølle at investeringen udgør 13.200 kr per MW. Disse priser stemmer godt overens med de forudsætninger Ea Energianalyse har anvendt i deres beregninger, jf. figur 6.2.

På spørgsmålet, om det kan betale sig at investere i vindmøller, må svaret blive: Ja, det kan det, hvis investor sammenligner sit forventede afkast med markedsrenten og har samme forventning som Energistyrelsen til el-prisens udvikling. Afkastet ligger på 9-11 % reelt, så der er også plads til en risikopræmie. Robustheden over ændringer i el-markedsprisen er dog noget forskellig. Ved lave el-priser vil havvindmøller give et fornuftigt afkast, hvorimod afkastet bliver meget lavt for landvindmøller. Nogle investorer vil derfor nok mene, at risikoen ved at investere i vindmøller på land er for stor.

#### 8.2.4 Opsummering og evaluering af barrierer

Vores interviewundersøgelse viser, at hovedårsagen til, at udbygningen med vindmøller på land er gået i stå, er for lave afrekningspriser og for lav forrentning af vindmølleinvesteringen. Investeringsanalysen viser, at landvindmøller giver et årligt afkast på 9 %, når Energistyrelsens prognose for markedsprisen på el anvendes. Under skrotningsordningen bliver afkastet 11 %. Dette afkast må karakteriseres som fornuftigt, når man sammenligner med fx den lange obligationsrente, som i de seneste 10 år har ligget mellem 4 og 8 % opgjort nominelt. Det svarer til en real forrentning på mellem 2 og 6 %. Analysen viser dog også, at forrentningen

af landvindmøller er langt mere følsom over for ændringer i el-prisen end forrentningen af havvindmøller, som er beskyttet af en fast og høj el-afregningspris i den første del af produktionsperioden. Afkastet for en landvindmølle uden skrottingspræmie reduceres til under 2 %, hvis el-markedsprisen kun bliver det halve af, hvad Energistyrelsen forventer. For havvindmøller viser analysen, at afkastet er meget robust over for ændringer i markedsprisen på el. Afkastet varierer kun mellem 7 og 11 % afhængig af markedprisen på el.

Tilbageholdenheden med at investere i nye vindmøller kan ikke helt forklares af investeringsanalysen. At DONG har valgt at trække sig ud af Rødsand projektet kan skyldes, at afkastet vurderes at blive for lavt sammenlignet med det afkast DONG kan få ved at investere i vindmølle projekter i andre lande, fx England, hvor støtten til vindmøller er betydeligt højere. Udover høje afkastkrav kan forventninger om bedre fremtidige støtteordninger også have indflydelse på investeringslysten. Hvis investorerne forventer, at de politiske ønsker om en stor dansk udbygning med vedvarende energi vil udmønte sig i bedre støttevilkår, så kan det være grund til at man i øjeblikket viser tilbageholdenhed. Stor risikoaversion kan også spille en rolle, ikke mindst i forhold til investering i landvindmøller, hvor vores analyse viste en meget lav forrentning, hvis el-prisen kun bliver det halve af, hvad Energistyrelsen forventer. Vores interviewundersøgelse viser, at der også er administrative barrierer, som kan forklare, at der kun bliver sat meget få nye møller op på land. Undersøgelsen peger på, at det er administrativt tungt at få gennemført et vindmølleprojekt pga. lokal modstand.

Der er en mulighed for, at de interviewede personer har svaret strategisk. Respondenterne kan ønske at give udtryk for, at der er betydelige barrierer mod vindkraftudbygning, uden at det nødvendigvis forholder sig sådan. Ved at svare strategisk har de måske mulighed for at påvirke politikerne til at forbedre vilkårene for vindkraften. Dermed forbedres også vilkårene for de personer, der er beskæftiget i branchen. Vi har kunnet konstatere en meget høj grad af ensartethed i svarene omkring netop økonomien, hvilket kunne indikere, at der er et reelt problem.

### **8.3 Styringsmidler til at fremme vindkraft**

Siden det danske el-marked blev liberaliseret i 1999 er vindkraftudbygningen – ikke mindst på land – gået næsten i stå. Det til trods for, at der fortsat gives støtte til vindmøller – både på land og til havs.

Hvad vindkraftudbygning angår, har Danmark en førerposition i EU og i verden, men positionen trues af lande som England, Italien og Spanien, hvor vindkraftudbygningen sker med stormskridt i disse år. I modsætning til Danmark har disse lande valgt at yde en mere betydelig støtte til vindkraft.

### 8.3.1 Den nuværende støtte til vindmøllejerne

Der gives betydelig økonomisk støtte til danske vindmølleejere. Hvert år betaler el-forbrugerne omkring 2 mia. kr. i støtte til vindmøllejerne. Støtten opkræves af den systemansvarlige virksomhed, Energinet.dk, i form af et pristillæg, som i gennemsnit udgør 5 øre per kWh oven i markedsprisen på el. Forbrugerne har dog også glæde af, at vindkraften i perioder presser markedsprisen nedad. Indregner man denne effekt, så udgør forbrugernes støtte til vindmøllejerne 2-3 øre per kWh.

Støtten til vindmøllejerne gives enten i form af en garanteret afregningspris, som er højere end den nuværende markedspris, eller et tillæg til markedsprisen. Der er forskel på den støtte, der gives til vindmøllejere, bl.a. afhængig af, om vindmøllen står på land eller til havs, om vindmøllen er gammel eller ny, eller om vindmøllen erstatter en gammel mølle, som skrottes. Højest støtte opnår ejere af gamle vindmøller på land, dvs. vindmøller som blev opført inden el-reformen trådte i kraft. Lavest støtte gives til nye vindmøller på land. Hvor gamle vindmøller får omkring 60 øre per kWh el, de leverer til nettet, må ejere af nye vindmøller nøjes med omkring 30-35 øre per kWh, jf. tabel 8.6.

Grunden til, at støtten til vindmøller på land er blevet halveret, er liberaliseringen af det danske el-marked, som blev gennemført med vedtagelsen af el-reformen i 1999. Formålet med liberaliseringen er at opnå højere effektivitet i produktionen og lavere el-priser ved hjælp af øget konkurrence på el-markedet. El-reformen har bl.a. betydet, at:

Ejere af gamle vindmøller på land opretholder en høj prisgaranti i en overgangsperiode. Herefter må vindmøllejeren nøjes med markedsprisen.

Ejere af nye vindmøller på land skal sælge den producerede el til markedsprisen på Nordpool inklusive et pristillæg på 10 øre per kWh samt en godtgørelse på 2,3 øre per kWh for balanceringsomkostninger m.v. (Energi styrelsen 2004). Dertil kan ejeren opnå et yderligere pristillæg i form af en skrotningspræmie, hvis den nye mølle erstatter en gammel vindmølle.

Opførelse af havvindmøller sker i udbud og gives som en licitation. Dermed er der skabt konkurrence mellem de parter, som er interesseret i at opføre havvindmøllerparker. Erfaringen viser dog, at kun få aktører er interesseret i at opføre havvindmøller, så konkurrencen har været beskednen. Dette er til trods for, at der i de første godt ti år af en vindmølles levetid gives en prisgaranti, der er omkring dobbelt så høj som markedsprisen på el. Prisgarantien bortfalder, når vindmøllens produktion når et fastlagt produktionsloft for støtte. Manglende konkurrence om at få lov til at opføre de udbudte havvindmøllerparker er i sagens natur ikke noget sundhedstegn. Jo flere konkurrenter, jo større er sandsynligheden for, at den enkelte aktør ikke handler strategisk.

I og med langt at størstedelen af vindmølleudbygningen siden 2002 er foregået på havet (jf. fig. 2.2) kan man konkludere at styringsmidlerne rettet mod havvindmøller har virket bedre end styringsmidlerne til landvindmøller.

### 8.3.2 Støtten i Danmark er reduceret

Danmarks førerposition indenfor vindenergi trues af lande i EU med bedre støtteordninger. Grønne certifikater og prisgarantier har skabt ekspansiv vækst i vindkraftproduktionen i lande som England, Spanien, Holland og Tyskland – se tabel 8.4. Disse lande er alle i top 10, når man på verdensplan sammenligner kapaciteten af den samlede vindmølle bestand.

**Tabel 8.4 Støtten til vindmøller i udvalgte EU-lande**

Land	Vækst i vindmøllekapaciteten 2004-2005 %	Afregningspris øre/kWh	Styringsmiddel
England	49	67-75	Grønne certifikater
Spanien	21	46-49	Prisgaranti
Holland	13	57-72	Prisgaranti
Tyskland	11	39-68	Prisgaranti
Danmark	0,6	Ca. 35	Markedspris + pristillæg

Kilde: (Ea Energianalyse 2007a), Eurostat (2006), Global wind energy council (2005)

Note: For Danmark er vist støtten til nye vindmøller opført på land.

Sammenlignet med de andre EU-lande, har Danmark både betydelig lavere vækst i vindmølleudbygningen og en lavere støtteniveau til nye vindmøller. I England, Holland og Tyskland er støtten til nye vindmøller omkring dobbelt så stor som i Danmark.

Den danske støtte var før el-reformen væsentligt højere end den er i dag. Udviklingen i støtte til vindmøller på land ses i tabel 8.5. Det fremgår af tabellen, at støtteniveauet var højest i 1990'erne med en fast afregningspris (prisgaranti) på 60 øre/kWh. Støtten faldt med næsten 30 % til 43 øre/kWh i perioden 2000-2002. Støtten faldt yderligere i perioden 2003-2004, og samtidig ændrede støtteformen sig fra en fast pris på de 43 øre/kWh til et pristillæg på 10 øre/kWh oveni markedsprisen.

Som supplement til denne støtte er der etableret en skrotningsordning. Skrotningsordningen skulle give et ekstra incitament til at udskifte gamle og ineffektive møller under den gamle og mere fordelagtige støtteordning med nye effektive møller under den nye ordning. Støtteordningen har dog ikke været en succes, og man har langt fra nået målet om ekstra 350 MW kapacitet under denne ordning.

Støtten til vindmøller på havet er ikke faldet tilsvarende. Der er givet støtte i størrelsesordenen 51 øre/kWh (op til et produktionsloft på 50.000 fuldlasttimer) for to havvindmølleparker ved henholdsvis Horns Rev og Rødsand (International Energy Agency 2006a).

**Tabel 8.5 Udviklingen i den danske støtte til vindmøller på land**

År	Vindmøllens alder	Støtte øre/kWh	Støttetype
-1999	1. Op til et produktionsloft	60	Prisgaranti
	2. Indtil møllen er 10 år gammel	43	Prisgaranti
	3. Indtil møllen er 20 år gammel	10	Fleksibelt tillæg til markedspris
2000-2002	1. Op til 22.000 fuldlasttimer	43	Prisgaranti
	2. Indtil møllen er 20 år gammel*	10	Fleksibelt tillæg til markedspris
2003-2004	1. Indtil møllen er 20 år gammel*	10	Fleksibelt tillæg til markedspris
2005-	1. Indtil møllen er 20 år gammel*	10	Tillæg til markedspris

Kilde: International Energy Agency (2006a).

Note: En "fuldlasttime" svarer til el-produktionen i en time fra en vindmølle, som producerer ved fuld kapacitet.

\* Yderligere 2,3 øre/kWh gives til mølleejeren for at dække balanceomkostninger.

### 8.3.3 Hvilke støttemuligheder findes?

Udover at give direkte produktionsstøtte til vindmøller findes der også andre støttemuligheder. Man kan skelne mellem direkte og indirekte støtte til vindmøller.

Direkte støtte gives til vindmølleejeren og kan være fx investerings- eller produktionsstøtte. Den nuværende støtte er produktionsstøtte givet i form af en prisgaranti i en tidsbegrænset periode eller et pristillæg oven i markedsprisen. Den direkte støtte til vindmølleejeren kunne imidlertid også have form af et investeringstilskud, som reducerer udgiften til en ny vindmølle. Forskellen mellem de to støttemuligheder er, at investeringstilskuddet giver vindmølleejeren en kontant fordel her og nu, hvorimod produktionsstøtten udbetales over en lang periode. Prisgarantien (produktionsstøtten) betyder, at vindmølleejeren producerer el, selvom markedsprisen på el er 0 øre per kWh, som der har været eksempler på i januar 2007. Dette vil ikke ske, hvis støtten i stedet gives som et investeringstilskud.

Indirekte støtte kan have form af grønne afgifter, CO<sub>2</sub>-kvoter eller VE-beviser. Støtten går ikke direkte til vindmølleejeren, men virker indirekte som en forbedring af vindmøllernes konkurrenceevne over for teknologier, som bruger fossile brændsler til at producere el. De tre eksempler på støtte forbedrer ikke alene vindmøllers konkurrenceevne, men konkurrenceevnen for alle energiteknologier baseret på vedvarende energi. Ud fra et markedssynspunkt, er den indirekte støtte bedre end direkte støtte til bestemte typer af teknologier eller til særlige typer af kunder. Det overlades til markedet at finde de rigtige teknologiske løsninger, givet at de miljøvenlige teknologier tildeles en konkurrenceevnefordel (Nielsen et al. 2007).

I det følgende vil vi diskutere, hvordan støtte til vindkraft skal gives, hvis et mål om at 50 % af el-forbruget skal komme fra vindkraft i 2025.

### 8.3.4 Hvordan bør der støttes?

Der findes en større teoretisk litteratur om virkemidler, ikke mindst økonomiske virkemidler på energi- og miljøområdet. Vi vil referere et par relevante synspunkter fra litteraturen, men det ligger uden for denne rapports afgrænsning at gå dybere ned i litteraturen. En god oversigt over styringsmidler til at fremme vedvarende energi er givet i en tidligere rapport udgivet af IMV (Institut for Miljøvurdering 2006). Rapporten indeholder en opdeling af styringsmidler på følgende fem typer: Institutionelle styringsmidler, prisregulering, kvoter, støtteprogrammer og instrumenter baseret på frivillighed. Afgørende for valg af styringsmidler er om de effektivt opfylder et givet mål, om de er omkostningseffektive, og at de er socialt acceptable ud fra en lighedsbetragtning, se (Institut for Miljøvurdering 2006). Derudover er det også vigtigt at overveje, hvilken kombination af styringsmidler, der er den bedste. Hvad hjælper det fx at give økonomisk støtte til investering i vindmøller, hvis der pga. manglende planlægning ikke er udpeget lokaliteter til opstilling af vindmøller?

I denne rapport analyserer vi de samfundsøkonomiske omkostninger af at dække 50 % af danskernes el-forbrug i 2025 med vindkraft. Som målet er givet, er det oplagt at overveje et kvotebaseret styringsmiddel som fx grønne certifikater, som tvinger el-kunderne til at købe en given mængde grøn el eller el-producenterne til at inkludere en given andel vedvarende energiteknologi i deres produktionssystem. Dette styringsmiddel anvendt som et omsætteligt kvotesystem er kendt fra nogle stater i USA, og fra Australien og Japan, se (Palmer & Burtraw 2005). Det danske el-marked reguleres allerede ved hjælp af et kvotemarked for CO<sub>2</sub>-udledning – oven i købet et internationalt kvotemarked. CO<sub>2</sub>-kvoterne er omsættelige, hvilket sikrer omkostningseffektivitet. Dog uddeles der gratis kvoter til de virksomheder, som forurener mest. Afskaffelse af gratis kvoter vil få kvote markedet til at fungere bedre. Gratis kvoter betyder, at de mest forurenende virksomheder helt eller delvis slipper for at skulle købe CO<sub>2</sub>-kvoter. I princippet svarer det til afgiftsfritagelse eller en afgift med et "bundfradrag". Energiafgiften i Danmark er designet på samme måde. Virksomheder – og ikke mindst virksomheder med et stort energiforbrug – betaler meget lave energiafgifter. Afgiftsfritagelse for forurenende virksomheder er årsagen til at Danmark er et af de lande i EU, hvor der er størst forskel i afgifter mellem erhverv og husholdninger (Munksgaard et al. 2006). Gratis kvoter og afgiftsfritagelse er begrundet af konkurrenceevnehensyn – ikke af miljøhensyn.

Udover energiafgifter og CO<sub>2</sub>-kvoter, som i dag regulerer det danske el-marked, kunne man også forestille sig, at grønne certifikater blev anvendt for at opnå en større andel af vedvarende energi i el-systemet. Hvis målet alene er, at vedvarende energi skal udgøre en given andel af el-produktionen, så er det optimalt at anven-

de grønne certifikater (Jensen & Skytte 2003). Hvis målet er at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen er det ikke helt så klart hvilket middel, der er mest effektivt.

I stedet for kvoter kunne man anvende miljøafgifter (grønne afgifter), som er en afgift på forurening. De aktuelle danske energiafgifter er dog ikke alle i egentlig forstand grønne (Nielsen et al. 2007). Hvis man gerne vil fremme udbygningen med vindkraft er det ikke særlig effektivt at lægge høje afgifter på forbrug af energi og lave afgifter på produktion af energi. CO<sub>2</sub>-afgiften og de høje energiafgifter på private kunders el-forbrug virker forbrugsdæmpende og giver et signal om, at det måske kan betale sig at spare på energien, men det giver ikke producenterne lyst til bygge vindmøller. Hvis det skal ske, så skal afgiften flyttes fra forbrugeren til producenten og have form af en afgift på de fossile brændsler. Derved vil den, som bygger traditionelle kraftværker måske få lyst til at bygge vindmøller i stedet for (Nielsen et al. 2007). En væsentlig indvending mod grønne afgifter på brændslet ved el-produktion er selvfølgelig, at det danske el-marked er en del af et større europæisk el-marked. Dermed får det betydning for konkurrenceevnen, hvis Danmark indfører afgifter i el-produktionen, uden at de andre lande i el-markedet gør noget tilsvarende. Af hensyn til konkurrenceevnen er det derfor at foretrække, hvis der sker en harmonisering af afgifterne i EU.

Direkte økonomisk støtte til vindmølleejere, fx i form af en fast afregningspris (prisgaranti), er et effektivt virkemiddel. Det viser de historiske erfaringer i Danmark og udviklingen i andre lande, som giver en større støtte til vindmøller, end Danmark har gjort de seneste år. Støtten kan selvfølgelig blive for høj, så vindmølleejerne opnår et for højt afkast af deres investering i forhold til den risiko de påtager sig. En måde at begrænse afkastet på, er at anvende licitationsprincippet kombineret med en prisgaranti – den model, som med en vis succes har været anvendt for den danske havvindmølleudbygning. Princippet er, at den lavest bydende målt på prisgarantien får ret til at opføre og drive vindmølleparken. Licitationsmodellen med prisgaranti har også den fordel, at et ønsket udbygningsniveau kan nås. Der er meget klar sammenhæng mellem mængden af vindmøller, der stilles op (målt på MW installeret effekt) på en given lokalitet og den mængde el, de vil komme til at producere fremover.

At vindmølleudbygningen på land er gået i stå, står i kontrast til regeringens mål om, at danskernes forbrug af vedvarende energi, bl.a. fra vindmøller, skal øges på længere sigt. Det er derfor værd at overveje, om der er behov for nye typer af støtte.

I erkendelse af, at en udbygning på land i højere grad end til havs kan komme til at stride mod lokale interesser er det værd at overveje, om støtten til vindmøller også burde omfatte fx naboer til vindmøller, som muligvis bliver udsat for støj og visuelle gener fra vindmøllerne. Det kan overvejes dels at yde kompensation (fx i form af

en reduktion i el-prisen) og dels at tilskynde til dannelse af lokale ejerskaber. Lokale ejerskaber (fx andele eller aktier) kan gøres til en del af udbudsbetingelsen for at opnå koncession til at opføre en vindmøllepark i en region. Risikoen for lokal modstand mod vindmøller er mindre, hvis naboer og lokalsamfund inddrages i planlægningen og får mulighed for at blive medejere af møllerne.

Som et alternativ til at differentiere støtten mellem hav- og landvindmøller, er en udbudsprocedure en mulighed. En sådan procedure indebærer, at der foretages arealreservationer på land til brug for vindmølleudbygning. Arealreservationerne skal tage hensyn til fx vindforhold, rekreative og naturmæssige interesser og det eksisterende el-distributionsnet. Derefter fastlægges der en tidsmæssig udbygningstakt for det antal vindmølleparker, som er nødvendig for at opfylde målet. Endelig gives arealerne i udbud (tendering) med krav om, at en given vindmøllekapacitet skal opnås. Laveste bud får koncessionen til at opføre og drive vindmølleparken i en fastlagt årrække.

En anden mulig overvejelse kunne være at afskaffe eller modificere skrotningsordningen, da det har vist sig den ikke har nogen stor effekt. Modifikationen kunne fx bestå i, at der gives støtte til at skrotte enkeltstående møller, hvis man samtidig opfører nye vindmøller i større klynger.

I stedet for at lægge en CO<sub>2</sub>-afgift på el-regningen bør den lægges på produktionsleddet. I sin nuværende form virker den som en afgift på el og ikke som en afgift på CO<sub>2</sub>. Skal afgiften være en afgift på CO<sub>2</sub>, skal den lægges på den energi, som bruges til at producere el og ikke på forbruget af el. Lægges afgiften i produktionsleddet, vil det give vindkraften en indirekte konkurrencefordel. Både England og Italien har haft succes med indføre grønne certifikater. Dette kunne også overvejes i Danmark til supplement af energiafgifter og CO<sub>2</sub> kvoter, som i dag regulerer det danske el-marked. Hvis målet er, at vedvarende energi skal udgøre en given andel af el-produktionen, er det optimalt at anvende grønne certifikater (Jensen & Skytte 2003). Hvis målet er at reducere CO<sub>2</sub> udledningen er det ikke helt så klart, om grønne certifikater eller CO<sub>2</sub> kvoter er det mest effektive styringsmiddel

Man kunne overveje helt at afskaffe gratis CO<sub>2</sub>-kvoter, fordi de betyder afgiftsfritagelse for store CO<sub>2</sub>-udledende virksomheder som fx elværker. Alternativt kunne indtægten fra et eventuelt salg af kvoter bruges til at investere i vedvarende energi, fx vindmøller. CO<sub>2</sub>-kvotemarkedet er et fælles EU marked. Derfor er rammerne for markedet et emne, som skal drøftes på EU niveau. En harmonisering af afgiftspolitikken på energiområdet er dog et af de emner, som har vist sig svære at opnå enighed om i EU.

For at tilskynde til at få udviklet nye teknologier og mølletyper kan man overveje at indføre tilskud, som gøres afhængige af teknologiens modenhed. Jo mere moden



en teknologi er, jo lavere tilskud gives der. Denne tilskudsform kan dog godt betyde, at vindmøller får mere konkurrence fra vedvarende energiteknologier, som ikke har opnået samme modenhed i markedet som vindmøller har, og som derfor vil være berettiget til større tilskud end vindmøller.



## 9. Konklusion

I denne rapport har vi analyseret de samfundsøkonomiske omkostninger ved udbygningen af dansk vindkraft til at udgøre hhv. 30, 40 og 50 procent af det danske el-forbrug. Vi har analyseret de væsentligste – men ikke alle – omkostninger. Samtidig har vi beregnet de væsentligste miljøfordele ved en udbygning og suppleret dette med en beskrivelse af øvrige mulige fordele. Denne rapport skal derfor ikke betragtes som en udtømmende opgørelse af fordele og ulemper ved vindkraftudbygning, men først og fremmest som en konsekvensberegning af hvilke omkostninger en udbygning af vindkraft vil kunne forventes at have på forskellige ambitionsniveauer.

### Begrænsninger ved analysen

Det er hensigten med denne analyse at bidrage med relevant information i forbindelse med fastlæggelse af vindkraftmål. Det er dog klart at analysens konklusioner skal fortolkes analysens begrænsninger, som er bestemt af de valgte metoder og forudsætninger. Den centrale analyse bygger på en simulering af aktørernes adfærd på det nordiske elmarked (i elmarkedsmodellen Balmorel). Dermed er det grundlæggende en 'bottom-up' analyse, som giver en detaljeret beskrivelse af systemet. Denne tilgang betyder dog, at overordnede makro-økonomiske effekter (eksempelvis beskæftigelse, eksport og effekter på øvrige sektorer i økonomien) ikke er behandlet grundigt. I en modelsimuleringen er det desuden nødvendigt at foretage en række valg med hensyn til forudsætninger og afgrænsninger, som vil have indflydelse på resultatet af den samfundsøkonomiske omkostningsanalyse – fx at der ikke sker teknologiske gennembrud/skift. En række af disse forudsætninger er dog analyseret i følsomhedsanalyser.

### Hovedresultater

Rapportens resultater kan i hovedtræk summeres som følger:

- Med det nuværende relativt lave støtteniveau på ca. 12 øre/kWh bør man alt andet lige kunne opnå et mål på 40 % af det danske el-forbrug dækket af vindkraft i 2025.
- Den manglende udbygning med vindkraft på markedet i dag skyldes formentlig i høj grad også andre faktorer end manglende støtte i Danmark – bl.a.
  1. Bedre alternative investeringsmuligheder i vindkraft med højere afkast i lande som England og Tyskland, hvor støtteordningerne er mere favorable end i Danmark;
  2. Evt. strategisk adfærd på markedet (fx forventninger om højere fremtidig støtte);

3. Afventede adfærd blandt investorer på grund af efterspørgselsdrevne høje priser på vindmøller, der har ført til en stigning i priserne på vindmøller de seneste par år på trods af læreeffekter, der i sig selv har en prisdæmpende effekt;
  4. Administrative barrierer.
- Helt uden støtte kan man dog ikke forvente investeringer i vindkraft i Danmark fra aktørerne på markedet indtil 2025.
  - Regeringens målsætning om at nå ca. 50 % af elforbruget fra vindkraft i 2025 bør ifølge beregningerne alt andet lige kunne nås med et støtteniveau på mellem ca. 9 øre/kWh til ca. 18 øre/kWh. Det lave estimat knytter sig til opsætning af vindmøller på land i første halvdel af perioden 2010-2025. Det høje estimat knytter sig til den nødvendige støtte til opsætning af havvindmølleparker i sidste halvdel af perioden. Det svarer til den afregningspris på 50 øre/kWh som de planlagte havvindmøller forventes at få i pristilskud, idet de 18 øre/kWh i støtte lægges oveni markedsprisen på el, som i perioden 2010-2025 forventes at være tæt på 32 øre/kWh. Man skal i den forbindelse være opmærksom på, at det har negative samfundsøkonomiske konsekvenser hvis støtteniveauet er højere end det niveau, der er nødvendigt for netop at give den ønskede udbygning.
  - De samfundsøkonomiske omkostninger ved en udbygning på 50 % af elforbruget fra vindkraft beregnes i rapporten til ca. at udgøre 5,9 mia. kr. For 30 og 40 % forventes de samfundsøkonomiske omkostninger at være henholdsvis ca. 0,3 og 1,9 mia. kr. (nutidsværdi i 2006 priser ved 3 % diskontering). Heri er der ikke medregnet miljøfordele og øvrige fordele ved vindkraften.
  - Stigningen i omkostningerne ved højere mål for vindkraftens andel af elforbruget skyldes først og fremmest samfundsøkonomiske omkostninger til støttesystem (skatteforvridning), men også i høj grad omkostninger til gearing af den danske el-infrastruktur, så de større mængder vindkraft kan håndteres.
  - Udbygning til 30, 40 og 50 % giver miljøfordele i størrelsesorden mellem 0,5 til 2,9 mia. kr. Et mål på 30 % af elforbruget fra vindkraft kan, selv uden at øvrige mulige fordele inddrages, forventes at give samfundsøkonomisk overskud på mellem 0,1 og 0,9 mia. kr. Dette er dog ikke tilfældet for et 40 og 50 % vindkraftmål. For en udbygning til 50 % modsvares de samfundsøkonomiske omkostninger på 5,9 mia. kr. af miljøfordele på 1,0 til 2,9 mia. kr., mens de samfundsøkonomiske konsekvenser af en ud-

bygning til 40 % bliver i størrelsesordenen fra 1,2 mia. kr. (omkostning) til en fordel på 0,1 mia. kr. (nutidsværdi i 2006 priser ved 3 % diskontering). Her er det dog vigtigt at understrege, at analysen ikke har inddraget samtlige mulige fordele ved vindkraftudbygning.

- Betydningen for danskernes elregning i 2025 af en udbygning af vindkraften til 50 % af elforbruget forventes at blive ca. 3,3 øre/kWh. Dette svarer til, at en gennemsnitlig husstand (forbrug: 4.000 MW) får en merudgift på 130 kr. om året i 2025 (faste priser, 2006). For 30 og 40 % udbygningen bliver effekten henholdsvis 2,3 og 2,1 øre/kWh svarende til henholdsvis 92 og 84 kr. per husstand i 2025.
- Et af hovedformålene bag Regeringens mål om at opnå 50 % af elforbruget fra vindkraft i 2025 er at opnå en opfyldelse af Danmarks internationale forpligtelser til at nedbringe CO<sub>2</sub>-udslippet. Beregningerne i denne rapport viser dog, at man kun kan forvente et yderst begrænset bidrag til opfyldelse af CO<sub>2</sub>-reduktionsmål gennem sikring af høj andel af elproduktion fra vindkraft. Dette skyldes, at Danmark bliver eksportør af el ved indfasning af store mængder vindkraft i det danske elsystem. Danmark 'eksporterer' dermed CO<sub>2</sub>-gevinsten til andre lande i det nordiske elmarked. Den væsentligt større mængde vindkraft i systemet i 50 % scenariet forventes at medføre en dansk CO<sub>2</sub> reduktion på 1,4 millioner tons (i forhold til reference scenariet). Den samlede nordiske CO<sub>2</sub> reduktion forventes at blive ca. 4 gange højere end den danske.
- Vindkraftudbygningen har ikke kun konsekvenser for SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> udledningen i Danmark. SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> fordelene i vores nabolande som en konsekvens af den danske udbygning med vind beløber sig til omkring 6-17 mia. kr. (NV) i 50% scenariet mod omkostninger på 6 mia. kr. Dvs. miljøfordelene overstiger omkostningerne i en nordisk afgrænsning af samfundsøkonomien.
- Et andet hovedformål bag udbygningen med vindkraft er at øge andelen af vedvarende energi. Vindkraft kan sandsynligvis isoleret set være en omkostningseffektiv teknologi til at bidrage til at nå en vedvarende energi (VE)-målsætning. Biomasse er også et lovende og supplerende alternativ, men har næppe potentiale til alene at opfylde meget ambitiøse VE-mål. En udbygning af vindkraften til 50 % af elforbruget forventes isoleret set at betyde, at andelen af vedvarende energi i Danmark stiger fra 15 % af det totale energiforbrug i dag til 19 % i 2025.

## Usikkerheder

Der er i analysen foretaget følsomhedsberegninger på en række af de centrale forudsætninger i analysen. Disse viser en relativ lille effekt på de centrale estimater af en ændret diskonteringsrate (fra 3 til 6%). Resultaterne i den nordiske afgrænsning af omkostninger og gevinster er dog følsom overfor valg af diskonteringsrate. Endvidere er resultatet følsomt overfor alternative forudsætninger om brændsels- og CO<sub>2</sub>-kvotepriser samt prisudviklingen på vindmøller. Det centrale resultat på 5,9 mia. kr. i samfundsøkonomiske omkostninger ved at nå et mål på 50 % vindkraft i el-forbruget kan således blive til en samfundsøkonomisk gevinst ved en CO<sub>2</sub>-kvotepris på 300 kr./ton, og en samfundsøkonomisk omkostning på 2,7 mia. kr. med en brændselspris på 75\$/tønde.

## Mere viden er nødvendig

Denne rapport har ligesom tidligere beregninger af vindkrafts samfundsøkonomi sine begrænsninger. Der er derfor flere områder, hvor yderligere analyse vil kunne medvirke til et forbedret beslutningsgrundlag:

- Med udgangspunkt i en mere udtømmende behandling af øvrige fordele ved dansk vindkraftudbygning, bør det i princippet være muligt at beregne et estimat for samfundsøkonomisk optimalt niveau af vind i det danske elsystem i 2025.
- Mere detaljerede undersøgelser af omkostningseffektive måder at nå overordnede energimål, som fx Regeringens mål om 30% af det danske energiforbrug fra vedvarende energi – herunder delmål for vindkrafts andel af samlet el-forbrug, og vindkraftens samspil med øget brug af biomasse i energiproduktionen.
- Mere detaljeret afdækning af overordnede makroøkonomiske effekter af virkemidler på energiområdet
- Afdækning af omkostningerne ved og værdien af et elsystem, der er mere fleksibelt overfor fremtidige teknologi- og forbrugsskift.
- Mere detaljeret modellering af samspillet i det nordiske el-marked, og dets indflydelse på valg af omkostningseffektive energi-strategier.

## Tak til

Forfatterne af denne rapport vil gerne takke følgende bidragydere:

Kollegaer på Institut for Miljøvurdering for kritiske kommentarer og konstruktive bidrag; Ea Energianalyse for et substantielt modelarbejde, som har bidraget til hovedanalysen i rapporten. Desuden har Ea Energianalyse bidraget ved at indgå i mange interessante diskussioner om krydsfeltet mellem samfundsøkonomisk analyse og det danske energisystem; Jacob Krog Søbygaard, senior konsulent, COWI, for ekstern review og sparring på samfundsøkonomiske problemstillinger; Poul Erik Morthorst for ekstern review og konstruktiv kritik.

Forfatterne står alene til ansvar for rapportens indhold.





## Litteraturliste

- Andersen, M. S., Frohn, L. M., Jensen, S. S., Nielsen, J. S., Sørensen, P. B., Hertel, O., Brandt, J., Christensen, J. 2004 *Sundhedseffekter af luftforurening - beregningspriser*. Faglig rapport 507. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøministeriet.
- Danish Energy Authority 2005 *Sammenfattende baggrundsrapport for Energistrategi 2025*. Danish Energy Authority.
- Danish Energy Authority, Eltra, Elkraft System 2005 *Technology Data for Electricity and Heat Generating Plants*. Danish Energy Authority.
- Danmarks Vindmølleforening 2002 *Fakta om vindenergi M1: Vindmøller i energiplanerne*. Danmarks Vindmølleforening.
- Danmarks Vindmølleforening 2006 *Faktablad P4 - Vindmøller på havet*. Danmarks Vindmølleforening.
- Det Økonomiske Råd 2002 *Dansk Økonomi. Forår 2002*. Det Økonomiske Råd Sekretariatet.
- DONG Energy, Vattenfall, Danish Energy Authority, Danish Forest and Nature Agency 2006 *Danish Offshore Wind - Key Environmental Issues*. Dong Energy, Vattenfall, Danish Energy Authority, Danish Forest and Nature Agency.
- Ea Energianalyse 2006 *Elproduktionsomkostninger for nye danske anlæg*. Ea Energianalyse A/S.
- Ea Energianalyse 2007a *50 pct. vindkraft i Danmark i 2025 - en teknisk-økonomisk analyse*. Ea Energianalyse A/S.
- Ea Energianalyse 2007b *Supplerende beregninger til projektet "Vindkrafts systemomkostninger"*. Ea Energianalyse.
- Ea Energianalyse 2007c *Vindkrafts systemomkostninger*. Ea Energianalyse A/S og Institut for Miljøvurdering. <http://www.ea-energianalyse.dk/projects24.html>
- ECON Analyse 2005 *Vindmøller og dansk klimastrategi - 2005 udgave*. Notat 2005-028. ECON Analyse.
- Energiministeriet 1990 *Energi 2000 - Handlingsplan for en bæredygtig udvikling*. Energiministeriet.
- Energinet.dk 2007 *Elproduktion, elforbrug og udveksling af el mellem Danmark og dets nabolande. Snapshot 19. marts 2007 kl. 11.20*. [www.energinet.dk/Integrationer/ElOest/ElsystemetLigeNu/energinet1.swf](http://www.energinet.dk/Integrationer/ElOest/ElsystemetLigeNu/energinet1.swf)
- Energistyrelsen 2004 *Afregning af vindmøller, Energiforsyningsområdet, notat af 16. marts 2004*. Energistyrelsen.
- Energistyrelsen 2005a *Energistrategi 2025 - Perspektiver frem mod 2025 og Oplæg til handlingsplan for den fremtidige el-infrastruktur*. Transport- og Energiministeriet.

- Energistyrelsen 2005b *Langsigtet energistrategi mod 2025 - Detaljerede tal for basisfremskrivningen*.  
[http://www.ens.dk/graphics/energipolitik/dansk\\_energipolitik/langsigtet\\_energistrategi\\_mod\\_2025/Detaljerede\\_tal\\_basisfremskrivningen.xls](http://www.ens.dk/graphics/energipolitik/dansk_energipolitik/langsigtet_energistrategi_mod_2025/Detaljerede_tal_basisfremskrivningen.xls)
- Energistyrelsen 2006 *Energistatistik 2005*. Energistyrelsen.
- Energistyrelsen 2007 *Vindmølle Stamdata*. [http://search.ens.dk/cgi-bin/MsmGo.exe?grab\\_id=191&page\\_id=2293760&query=stamdata&hiword=stamdata+](http://search.ens.dk/cgi-bin/MsmGo.exe?grab_id=191&page_id=2293760&query=stamdata&hiword=stamdata+)
- Energistyrelsen, Elkraft System, Eltra 2005 *Technology Data for Electricity and Heat Generating Plants (Teknologikataloget)*. Energistyrelsen.
- Enevoldsen, S. E., Østergaard, P. A., Morthorst, P. E., Moesgaard, R. 2006 *Vindkraftens betydning for elprisen i Danmark*. Aarhus Universitet.
- Europakommissionen 2007 *Meddelelse fra kommissionen til det Europæiske råd og Europa-parlamentet - en energipolitik for Europa*. SEK(2007)12
- European Commission (Holland, M. et al.) 1999 *ExternE - Externalities of Energy. Vol. 7: Methodology 1998 update*. ExternE 7. European Commission.
- European Commission 2003 *External Cost - Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport*. EUR 20198. European Commission.
- European Commission 2005 *ExternE Externalities of Energy - methodology 2005 Update*. EUR 21951. European Commission.
- European Wind Energy Association 2005 *Wind Energy - The Facts - an Analysis of Wind Energy in the EU-25 Volume 4*. European Wind Energy Association.
- Eurostat 2006 *EU electricity market: Wind powered electricity generating capacity increased by over 150% in the EU25 since 2000*. Eurostat News Release 66/2006. Eurostat.
- Finansministeriet 1999 *Vejledning i udarbejdelse af samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger*. Finansministeriet.
- Finansministeriet, Miljøministeriet, Skatteministeriet, Udenrigsministeriet, Økonomi- og Erhvervsministeriet 2003 *En omkostningseffektiv klimastrategi*. Finansministeriet.
- Global wind energy council 2005 *Global wind 2005 report*. Global wind energy council.
- Global wind energy council 2007 *Global Wind 2006 Report*. Global Wind Energy Council.
- Global wind energy council & Greenpeace 2006 *Global Wind Energy Outlook 2006*. Global Wind Energy Council, Greenpeace.
- Haas, R., Held, A., Resch, G., Ragwitz, M., Faber, T., Huber, C. 2007 *Lesson learned from recent promotion strategies for electricity from renewables in EU countries*. Proceeding from Risø International Energy Conference 2007: Energy Solutions for Sustainable Development.

- Handelsministeriet 1976 *Dansk Energipolitik 1976*. Handelsministeriet.
- IEA 2006 *Key world energy statistics*. International Energy Agency.
- Institut for Miljøvurdering (Saxe, Henrik and Rasmussen, Clemen) 2006 *Green Roads to Growth - Proceedings of Experts and Policy Maker Forums*. Institut for Miljøvurdering, IMV.
- International Energy Agency 2006a *Energy Policies of IEA Countries - Denmark*. International Energy Agency and OECD .
- International Energy Agency 2006b *World Energy Outlook 2006*. OECD/IEA.
- International Energy Agency & OECD 2004 *World Energy Outlook 2004*. International Energy Agency.
- IPCC 2007 *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. IPCC secretariat.
- Jensen, S. G. & Skytte, K. 2003 Simultaneous attainment of energy goals by means of green certificates and emission permits. *Energy Policy* 31:63-71
- Jordal-Jørgensen, J. 1995 *Samfundsmæssig værdi af vindkraft. Delrapport: Visuelle effekter og støj fra vindmøller – kvantificering og værdisætning*. AKF Forlaget, København.
- Kjellingbro, P. M. 2004 *Diskontering i miljøøkonomiske analyser. Notat til Institut for Miljøvurderings miljøøkonomiske værktøjskasse*. Institut for Miljøvurdering.
- Ladenburg, J., Dubgaard, A., Martinsen, L., Tranberg, J. 2005 *Economic valuation of the visual externalities of off-shore wind farms*. Report No. 179. Food and Resource Economic Institute.
- Larsen, A. & Munksgaard, J. 1996 *Samfundsmæssig værdi af vindkraft*. AKF Forlaget.
- Larsen, T. & Pedersen, N. H. M. 2005 *Den offentlige sektor*. Handelshøjskolens Forlag, København.
- Miljø- og Energiministeriet 1996 *Energi 21 - Regeringens Energihandlingsplan 1996*. Miljø- og Energiministeriet.
- Møller, F. 2003 *Projektvurdering over tid - aspekter af diskonteringsproblemstillingen*. 193. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøministeriet. <http://www.dmu.dk>
- Morthorst, P. E. 2007 *Personlig kommentar Forskningspecialist Poul Erik Morthorst 22. maj 2007*.
- Munksgaard, J., Hansen, L. G., Bech-Ravn, C., Lind Ramskov, J. 2006 *Energiafgifter, miljø og konkurrenceevne*. AKF forlaget.
- Munksgaard, J., Larsen, A., Jordal-Jørgensen, J., Pedersen, J. R. 1995 *Samfundsmæssig værdi af vindkraft. Delrapport 2: Miljømæssig vurdering af vindkraft*. AKF Forlaget, København.
- Munksgaard, J. & Schiöppfe, M. 2006 *The Adoption of Renewable Energy to the liberalised Danish Power Market*. AKF Working papers AKF.

- Nielsen, Lise Skovsgaard, Mogensen, M. F., Pade, L.-L. 2007 *Effektiv brug af grønne afgifter i kraft- og varmesektoren*. Institut for Miljøvurdering.
- Nordhaus, W. D. 1994 *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*. Cambridge, Massachusetts, London, England: MIT Press.
- OECD 2005 *Projected Costs of Generating Electricity*. Nuclear Energy Agency; International Energy Agency; OECD.
- Palmer, K. & Burtraw, D. 2005 Cost-effectiveness of renewable electricity policies. *Energy Economics* 27:873-894
- Regeringen 2007 *En visionær dansk energipolitik*. Transport- og Energiministeriet.
- Schleisner, L. & Nielsen, P. S. 1997 *ExternE National Implementation - Denmark*. European Commission.
- Skytte, K., Jensen, S. G., Morthorst, P. E., Olsen, O. J. 2004 *Støtte til vedvarende energi*. Jurist- og Økonomforbundets Forlag.
- Socialdemokraterne 2006 *Energi - Danmark i front på energiområdet*. Socialdemokraterne.
- Tol, R. S. J. 2004 *The Marginal Damage Costs of Carbon Dioxide Emission*. Hamburg, Vrije and Carnegie Mellon Universities.

## Bilag 1: deltagere i IMV's interviewundersøgelse

Vindmølleindustrien, Rune Moesgård

Vindmølleforeningen, Linette Riis

Energistyrelsen, Henrik Lawaetz

Kommunernes Landsforening, Eske Groes

DONG Renewables, Henrik Balle

VINDenergi, Per Lauritsen

Lynetten vindmøllelaug og Middelgrunds vindmøllerne, Jens Larsen

Vestas, Ture Bjergholt

Ea Energianalyse, Hans Henrik Lindboe

BTM Consult ApS, Birger T. Madsen

Grontmij | Carl Bro, Per Vølund

Cowi, Jacob Krog Søbygaard

Orbicon, Per Møller Jensen

ECON, Jørgen Abildgaard

IDA, Hans Jørgen Brodersen

Roskilde Universitet, Ole Jess Olsen

DTU, Henrik Madsen

Aalborg Universitet, Henrik Lund

## Tidligere IMV rapporter

### 2007

Tab af natur ved motorvej til Frederikssund. Hansen, Anja Skjoldborg; Nielsen, Uffe. Juni.

Effektiv brug af grønne afgifter i kraft- og varmesektoren. Nielsen, Lise Skovsgaard; Mogensen, Martin Frank; Pade, Lise-Lotte. Juni.

Challenges for Economic Analysis under REACH – What can we learn from previous experience? Mogensen, Martin Frank; Nielsen, Uffe; Lerche, Dorte Bjerregaard. Maj.

CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger ved biodiesel – Dansk produceret biodiesel på raps. Carlsen, Kirsten; Kjellingbro, Marcus; Mogensen, Martin Frank; Kohl, Morten. Januar.

### 2006

Green roads to growth (konferenceprotokol). Forfattere: Abildtrup, Jens; Andersen, Kristoffer S.; Braathen, Nils-Axel; Böhringer, Christoph; Calow, Peter; Djourdjin, Martha; Dubgaard, Alex; Fagerberg, Jan; Gabr, Hesham Morten; Hoffmann, Anders; Jahn, Karin; Kemp, René; Kola, Jukka; Levinson, Arik; Markandya, Anil; Morthorst, Poul Erik; Nielsen, Uffe; Pfaffenberger, Wolfgang; Pianta, Mario; Reinhard, Stijn; Rennings, Klaus; Rosted, Jørgen; Smith, Stephen; Steward, Fred; Stæhr, Karsten; Vollebergh, Herman R.J.; Wrang, Kasper; Ziegler, Andreas.

Teknisk redaktion: Henrik Saxe og Clemen Rasmussen. September.

Kørselsafgifter i København – en samfundsøkonomisk analyse. Wrang, Kasper; Nielsen, Uffe; Kohl, Morten. Maj.

Kørselsafgifter i København – de trafikale effekter. Rich, Jeppe Husted (DTU); Nielsen, Otto Anker (DTU). Maj.

Fødevarers miljøeffekter – det politiske ansvar og det personlige valg. Saxe, Henrik; Busk, Rico; Petersen, Mads Lyngby. April.

Getting Proportions Right – How far should EU Impact Assessments go? Nielsen, Uffe; Lerche, Dorte Bjerregaard; Kjellingbro, Peter Marcus; Jeppesen, Lykke Mulvad. April.

Tab af naturværdier ved Kombilinién - Tillægsnotat til 'Motorways vs. Nature'. Olsen, Søren Bøye (KVL); Ladenburg, Jacob (KVL); Petersen, Mads Lyngby (IMV); Ulrich Lopdrup (IMV). April.

Havbrug – Samfundsøkonomiske fordele og ulemper ved øget produktion af ørred i danske farvande. Kohl, Morten. Februar.

### 2005

Motorways versus Nature – A Welfare Economic Valuation of Impacts. Olsen, Søren Bøye (KVL); Ladenburg, Jacob (KVL); Petersen, Mads Lyngby (IMV), Lopdrup, Ulrich (IMV), Hansen, Anja Skjoldborg (IMV); Dubgaard, Alex (KVL). December.

Environmental Harmful Subsidies - Linkages between subsidies, the environment and the economy. Kjellingbro, Peter Marcus; Skotte, Maria. September.

Natur, miljø og økonomi. Kapitel 7 i ”Natur og Miljø 2005 – Påvirkninger og tilstand”, eds. Hanne Bach, Niels Christensen, Henrik Gudmundsson, Trine Susanne Jensen, Bo Normander (DMU). Nielsen, Uffe (IMV); Hansen, Anja Skjoldborg (IMV); Lopdrup, Ulrich (IMV). August.

Looking Beyond Kyoto – Trade-offs and Disagreements in Climate Policy. Wrang, Kasper (IMV); Busk, Rico (IMV); Abildgaard, Jørgen (ECON Analysis); Stowell, Debbie (ECON Analysis). Maj.

Rethinking the Waste Hierarchy. Rasmussen, Clemen (IMV); Vigsø, Dorte (IMV); Ackerman, Frank (Tufts University); Porter, Richard (University of Michigan); Pearce, David (University College London and Imperial College London); Dijkgraaf, Elbert (Erasmus University, Rotterdam); Vollebergh, Herman (Erasmus University, Rotterdam). Marts.

#### **2004**

A Review of the North Atlantic Circulation, Marine Climate Change and its Impact on North European Climate. Olsen, Steffen M. (Danmarks Meteorologiske Institut); Buch, Erik (Danmarks Meteorologiske Institut); Busk, Rico (IMV). Maj 2004.

Økologi og økonomi – Fordele og omkostninger ved økologisk fødevarerproduktion. Wrang, Kasper; Hansen, Anja Skjoldborg; Egense, Andreas. Maj 2004.

Pesticidstop på offentlige arealer – En økonomisk vurdering af udvalgte områder. Petersen, Mads Lyngby; Lassen, Rasmus Brandt. Marts 2004.

Nyttiggørelse af brændbart affald – Velfærdsøkonomisk analyse af medforbrænding ved cementproduktion på Aalborg Portland A/S. Rasmussen, Clemen; Reimann, Per. Februar.

#### **2003**

Forsigtighedsprincippet i praksis – Konkrete anvendelser af forsigtighedsprincippet i Danmark. Hansen, Anja Skjoldborg; Busk, Rico; Larsen, Thommy. December.

BAM-forurening af drikkevandet – Skal vi rense? Kristoffersen, Anders; Lassen, Rasmus Brandt. December.

Litteraturstudie af de samfundsøkonomiske værdier af fordelene ved et renere vandmiljø – Baggrundsnotat til Viden, værdier og valg – Debatoplæg om mål og midler for Vandmiljøplan III. Skotte, Maria. November.

Studie af omkostningerne ved regulering af næringsstofforureningen af vandmiljøet – Baggrundsnotat til Viden, værdier og valg – Debatoplæg om mål og midler for Vandmiljøplan III. Kjellingbro, Peter Marcus. November.

Viden, værdier og valg. Debatoplæg om mål og midler for Vandmiljøplan III. Hansen, Anja Skjoldborg; Furu, Anita; Kjellingbro, Peter Marcus; Skotte, Maria; Vigsø, Dorte. November.

Miljøeffektvurdering for Havmiljøet del 3: Miljøeffektvurdering ud fra empirisk og procesbaseret modellering. Hansen, Ian Sehested (DHI); Markager, Stiig (DHI). Oktober.

Miljøeffektvurdering for Havmiljøet del 2: 3D procesbaseret modellering af miljøtilstanden i de åbne farvande. Hansen, Ian Sehested (DHI), Uhrenholdt, Thomas (DHI); Dahlmadsen, Karl Iver (DHI). Oktober.

Miljøeffektvurdering for Havmiljøet del 1: Empirisk modellering af miljøtilstanden i de åbne indre farvande. Markager, Stiig (DMU); Storm, Lars (DMU). Oktober.

Dansk miljøstøtte – Udgifter og fordele ved miljøstøtte til Central- og Østeuropa. Vigsø, Dorte; Hussain, Zubair Butt. Oktober.

Reduktion af radon – En samfundsøkonomisk cost-benefit analyse. Petersen, Mads Lyngby; Larsen, Thommy. August.

Globale økonomiske tab ved vejrkatastrofer – Årsager til stigende tabsomkostninger i det 20. århundrede. Busk, Rico; Wrang, Kasper; Strandbjerg Pedersen, Jesper. September.

## 2002

Nyttigørelse af returpapir – En samfundsøkonomisk analyse. Petersen, Mads Lyngby; Andersen, Henrik Thormod. December.

Knallerter – Samfunds- og miljøøkonomiske fordele og ulemper. Saxe, Henrik. December.

Samfundsøkonomisk vurdering af partikelfiltre – En cost-benefit analyse af partikelfiltre på dieselmotorer. Larsen, Thommy; Kristoffersen, Anders; Andersen, Henrik Thormod. November.

Tillægsnotat til rapporten "Pant på engangsemballage". Vigsø, Dorte; Højgaard, Betina.

Pant på engangsemballage? – En samfundsøkonomisk analyse af pantordningen for engangsemballage til øl og sodavand. Vigsø, Dorte; Andersen, Henrik Thormod. Oktober.

Danmarks omkostninger ved reduktion af CO<sub>2</sub> – En analyse af de forskellige muligheder. Kristoffersen, Anders. Oktober.

Assessing the Ecological Footprint – A look at the WWF's Living Planet Report. Jørgensen, Andreas Egense; Vigsø, Dorte; Kristoffersen, Anders; Rubin, Olivier. August.

Evaluation of the "Global Environmental Outlook – 3" Report by UNEP. Saxe, Henrik; Rubin, Olivier; Hansen, Anja Skjoldborg. August.

Miljøets pris – Danske miljøudgifter og indtægter. Vigsø, Dorte; Lyng, Morten Toft; Larsen, Thommy; Jørgensen, Andreas Egense. August.





## Om rapporten

Udbygningen af vindkraft i Danmark har været stagneret fra 2004 til 2007. Der er nu tilsyneladende politisk enighed om, at denne udvikling skal vendes, og at der skal gang i vindmølleudbygningen i Danmark igen. Der er dog ikke enighed om, hvor ambitiøse målene skal være.

Denne rapport analyserer hvor store de samfundsøkonomiske omkostninger er, ved en udbygning af dansk vindkraft til henholdsvis 30, 40 og 50 % af elforbruget i 2025. Omkostningerne indbefatter både investeringsomkostninger, infrastrukturomkostninger og skatteforvridningsomkostninger. Det er første gang alle disse elementer inddrages i en omkostningsanalyse af dansk vindkraft. I rapporten diskuteres også barrierer og virkemidler for udbygning af vindkraft i Danmark. Endelig perspektiveres resultaterne for omkostningerne ved en sammenligning med vindkraftens positive effekter, herunder miljøeffekter.

## Om IMV

IMV er et uafhængigt politik-analyseinstitut. Institutets hovedformål er at informere den miljøpolitiske debat gennem kritiske velfærdsøkonomiske analyser af miljøspørgsmål.

IMV blev grundlagt i 2002. Institutet arbejder tværfagligt, og medarbejderstaben omfatter eksperter i både naturvidenskab og miljøøkonomi. IMV fusionerer fra 1. juli 2007 med sekretariatet for Det Økonomiske Råd (DØRS), der i fremtiden også vil bistå det nye Miljøøkonomiske Råd.

Alle IMV-rapporter kan hentes på [www.imv.dk](http://www.imv.dk)