

Litteraturstudie af omkostningerne ved drivhusgasreduktion

Jesper Munksgaard og Tina Svan Hansen

AKF - Amternes og Kommunernes Forskningsinstitut

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 INDLEDNING	11
2 KLIMASCENARIER	13
2.1 DET EUROPÆISKE MILJØAGENTUR: CLIMATE CHANGE AND A EUROPEAN LOW-CARBON ENERGY SYSTEM, EEA (2005)	13
2.1.1 <i>Målsætning og afgrænsning</i>	13
2.1.2 <i>Scenarier for reduktion af drivhusgasser</i>	14
2.1.3 <i>Omkostninger ved reduktion af drivhusgasser</i>	14
2.1.4 <i>Anvendte analysemodeller og beregningsforudsætninger</i>	16
2.1.5 <i>Vurdering af rapporten</i>	16
2.2 COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2005), WINNING THE BATTLE AGAINST GLOBAL CLIMATE CHANGE	17
2.2.1 <i>Målsætning og afgrænsning</i>	17
2.2.2 <i>Scenarier for reduktion af drivhusgasser</i>	17
2.2.3 <i>Fordele ved drivhusgasreduktion</i>	18
2.2.4 <i>Omkostninger ved reduktion af drivhusgasser</i>	19
2.2.5 <i>Vurdering af rapporten</i>	21
2.3 DEPARTMENT OF TRADE AND INDUSTRY, »OPTIONS FOR A LOW CARBON FUTURE: REVIEW OF MODELLING ACTIVITIES AND AN UPDATE« (DTI, 2005)	21
2.4 ANDRE STUDIER	26
3 KLIMAMODELLER	30
4 TEKNOLOGIPROGNOSER	33
LITTERATUR	35

Forord

Denne slutrapport beskriver resultaterne af et projekt, akf har gennemført for Miljøstyrelsen i perioden fra september til november 2005. Projektets formål har været at gennemføre et litteraturstudie med fokus på Danmarks omkostninger ved at gennemføre en langsigtet klimapolitik, der lever op til EU-Rådets anbefalinger.

Projektet er blevet gennemført af en arbejdsgruppe i akf med deltagelse af forsker, ph.d. Tina Svan Hansen, vicedirektør Anders Larsen og docent, ph.d. Jesper Munksgaard (projektleder). Kontaktperson i Miljøstyrelsen har været Ulla Blatt Bendtsen.

Til projektet har der været tilknyttet en faglig følgegruppe bestående af Jens Hauch, DØRS; Jacob Krogh Søbygaard, Finansministeriet; Signe Caspersen og Peter Trier, Energistyrelsen; og Lars Klem Nielsen og Ulla Blatt Bendtsen, Miljøstyrelsen. Der har været holdt to møder med følgegruppen, hvor den har haft lejlighed til dels at kommentere projektbeskrivelse og -plan, dels udkast til denne rapport. Vi er taknemmelige for kommentarerne, men gør samtidig opmærksom på, at akf påtager sig ansvaret for rapportens indhold.

Jesper Munksgaard
December 2005

Sammenfatning og konklusioner

Formålet med projektet, som afrapporteres med dette notat, har været med baggrund i litteraturstudier at belyse omkostningerne for Danmarks økonomi ved at reducere udledningen af drivhusgasser med 60-80% i 2050. I projektbeskrivelsen lægges der vægt på, at omkostningerne afspejler et scenario for 2050, hvor alle verdens lande har forpligtet sig til nationale mål om CO₂-reduktion. Målet for drivhusgasreduktion svarer til den anbefaling, det Europæiske Råd har givet. Rådet anbefaler, at den globale temperatur højst må stige med 2°C sammenlignet med det førindustrielle niveau, hvis katastrofale ændringer i klimaet skal undgås. Stigningen på 2°C skønnes at svare til en koncentration af drivhusgasser i atmosfæren på 550 ppmv, men denne sammenhæng er forbundet med nogen usikkerhed.

Ingen af de studier, vi har undersøgt, har fokus på Danmark. Karakteristisk for de analyser, som er blevet gennemført, er, at verden opfattes som regioner, hvoraf EU med 25 medlemslande er en af regionerne. Dette betyder, at der foreligger en del analyser af omkostningerne for hele EU ved alternative klimascenarier, men der er ikke lavet analyser af reduktionsomkostningerne for Danmark.

Tre rapporter blev af følgegruppen i projektets startfase udpeget som særligt relevante og er derfor i disponeringen af rapporten blevet tillagt særlig vægt. Rapporterne er udarbejdet af EU-Kommissionen, EEA (Det Europæiske Miljøagentur og DTI (Det engelske handels- og industriministerium). EU-Kommissionens rapport sammenstykker resultater fra mange uafhængige kilder med det formål at identificere og analysere de faktorer, der har størst indflydelse på EU's CO₂ reduktionsomkostninger. De refererede omkostnings-skøn for EU ligger i intervallet 0-2% af BNP. Det er dog ikke muligt at sammenligne resultaterne på et ensartet (konsistent) grundlag. I rapporten fra det Europæiske Miljøagentur (EEA 2005) rækker mange af beregningerne desværre kun frem til 2030. Rapporten fra det engelske handels- og industriministerium (DTI 2005) kommer tættest på det formål, projektet har haft. Rapporten opstiller for England tre scenarier for reduktion af CO₂-udledningen i 2050 med 45-70%. På baggrund af egne analyser og eksisterende studier vurderer rapporten, at omkostningerne ved reduktion af CO₂-udledningen udgør mellem 0 og 3% af BNP i år 2050. Det er dog værd at bemærke, at rapporten kun omhandler reduktioner i CO₂-udledningen og ikke i udledningen af drivhusgasser generelt. Dette kan betyde, at bekæmpelsesomkostningerne bliver overvurderet, fordi man derved overser muligheden for, at det kan være billigere at reducere udledningen af andre drivhusgasser end CO₂.

Hvis man skal sammenfatte den litteratur, vi har gennemgået, i nogle væsentlige budskaber, så vil vi fremhæve, at eksisterende undersøgelser af anerkendte organisationer viser, at

- det er forbundet med stor usikkerhed at kvantificere de samfundsøkonomiske omkostninger ved at nå EU's fremtidige klimamål. De studier, vi har kigget på, præsenterer samfundsøkonomiske omkostninger, som ligger i intervallet 0-3% af BNP (bruttonationalproduktet), hvilket svarer til omkring et eller to års økonomisk vækst.

- bekæmpelsesomkostningerne kan reduceres væsentligt, hvis man på global basis anvender såkaldte fleksible mekanismer, dvs. omsættelige kvoter, JI (Joint Implementation) og CDM (Clean Development Mechanisms).
- lande som Danmark, med både stor CO₂-udledning pr. indbygger og høj indkomst, kommer til at betale gennemsnitlige omkostninger sammenlignet med andre lande, som deltager i klimaaftalen. De højeste bekæmpelsesomkostninger vil Kina samt lande i Latinamerika og Mellemøsten komme til at opleve.
- omkostningerne ved at reducere udledningen af drivhusgasser 50 år frem i tiden i høj grad afhænger af den teknologiske udvikling, som i det lange tidsperspektiv er yderst vanskelig at forudsige. EU-Kommissionen er dog opmærksom på, at teknologisk udvikling forudsætter, at der gennemføres en politik i medlemslandene, som støtter udviklingen af nye og billige teknologier.

Det gennemførte litteraturstudium giver ikke svar på spørgsmålet: Hvad koster det Danmark at gennemføre en langsigtet klimapolitik baseret på EU's anbefalinger? Der kan derfor være behov for at gennemføre en analyse for Danmark, der er baseret på beregningsforudsætninger, som ud fra et dansk synspunkt er de mest realistiske. Forudsætninger om fx økonomisk vækst, energieffektivisering, vedvarende energi ressourcer og nationale styringsmidler rettet mod forbruget af energi, har stor indflydelse på de samfundsøkonomiske omkostninger.

Mange af de analyser, vi er stødt på i litteraturen, er gennemført ved at kombinere en teknisk bottom-up modeltilgang med en økonomisk top-down tilgang. Fordelen ved en bottom-up model som fx MARKAL er, at man tager hensyn til den samlede effekt af de teknologiske muligheder på kort og mellem-langt sigt. På lang sigt vil denne type modeller dog undervurdere de teknologiske muligheder. Fordelen ved en top-down tilgang i form af en generel ligevægtsmodel som fx GEM-E3 er, at samspillet i hele økonomien bliver repræsenteret. Dermed giver en generel ligevægtsmodel mulighed for at fortolke velfærdseffekter på et konsistent grundlag. Teknologibeskrivelsen er dog svag i denne modeltype.

På den baggrund vil vi derfor anbefale, at en dansk analyse bliver baseret på begge modeltilgange.

Summary and Conclusions

The purpose of this project was to review literature studies with a view to identifying the costs for Denmark's economy associated with reducing emissions of greenhouse gases by 60-80 per cent by 2050. This reduction target corresponds to the recommendations of the European Council: The Council recommends that the global temperature be permitted to increase by no more than 2°C compared to the pre-industrial level in order to avoid catastrophic climate change. The increase of 2°C is estimated to correspond to a concentration of greenhouse gases in the atmosphere of 550 ppmv, but this conclusion is subject to some uncertainty.

None of the studies reviewed in this project focused on Denmark alone. Common for all the analyses that have been conducted is that they analyse the world by regions, with the EU and its 25 Member States representing one region. This means that there are several analyses of costs for the EU as a whole in relation to alternative climate scenarios, but there are no analyses of abatement costs for Denmark.

In the start-up phase of the project, the reference group highlighted three reports as particularly relevant. These reports are commented on in more detail in this report. The reports were prepared by the European Commission, the European Environment Agency and the DTI (Department of Trade and Industry, UK). The European Commission's report collates findings from many independent sources in order to identify and analyse the major factors that will influence mitigation costs for the European Union. The cost estimates referred to for the EU lie between 0-2 per cent of GDP. However, it is not possible to compare the findings on a consistent basis. Unfortunately, in the report from the European Environment Agency (EEA 2005), many of the calculations include the years up to 2030 only. The report from the DTI (DTI 2005) comes the closest to meeting the objective of this project. The report presents three scenarios for the UK for reducing CO₂ emissions by 45-70 per cent by 2050. Based on own analyses and existing studies, the report estimates that the costs associated with CO₂ emissions will make up between 0 and 3 per cent of the GDP by the year 2050. However, it is worth noting that the report only deals with reducing CO₂ emissions and not with greenhouse gas emissions in general. This may mean that the abatement costs are overestimated, because the study overlooks the possibility that it might be less costly to reduce emissions of other greenhouse gases than CO₂.

To summarise the literature reviewed into a few key messages, the following findings of the existing studies conducted by recognised organisations can be highlighted:

- Quantifying the economic costs of meeting the EU's future climate targets is subject to much uncertainty. The studies looked at present economic costs between 0-3 per cent of GDP, which is the equivalent of about one to two years of economic growth.
- The abatement costs can be reduced significantly if so-called flexible mechanisms are applied on a global basis, i.e. tradable CO₂ permits, Joint Implementation (JI) and Clean Development Mechanisms (CDM).

- Countries like Denmark, with high CO₂ emissions per capita and high income, will end up incurring average costs compared to other countries that have signed the climate agreement. The highest abatement costs would be experienced in China and countries in Latin America and the Middle East.
- The costs of reducing emissions of greenhouse gases 50 years ahead depend to a great extent on technological improvements which are very difficult to predict in the long term. The EU Commission is, however, aware that a prerequisite for technological progress is that the Member States implement policies that support the development of new and less costly technologies.

The literature review does not answer the question: What will it cost Denmark to implement long-term climate policy based on the EU's recommendations? An analysis for Denmark is, therefore, needed that is based on the forecasting assumptions which are most realistic from a Danish point of view. The conditions for e.g. economic growth, improvements in energy efficiency, renewable energy resources and national regulatory instruments directed towards energy consumption greatly influence the economic costs.

Many of the analyses presented in the literature surveyed in this study were carried out by combining a technological bottom-up model with an economic top-down approach. The advantage of a bottom-up model, such as MARKAL, is that it takes into consideration the total effect of the technological possibilities in the short and medium term. However, in the long term, this type of model will underestimate the technological possibilities. The advantage of a top-down approach in the form of a general equilibrium model, such as GEM-E3, is that the interaction of the entire economy is represented. In this way, the general equilibrium model makes it possible to interpret the welfare effects on a consistent basis. However, the description of technologies in this type of model is weak.

On this basis, it is therefore recommended to conduct a Danish analysis based on both approaches.

1 Indledning

Den danske miljøminister har udtrykt ønske om, at omkostningerne for Danmark, ved at forpligte sig til reduktionsmålsætninger på hhv. 15-30% i 2020 og 60-80% i 2050, skal belyses. Målene svarer til de anbefalinger, der blev vedtaget på det europæiske miljørådsmøde i marts 2005.¹ Reduktionsmålene bygger på det overordnede mål i FN's klimakonvention, nemlig at stabilisere koncentrationerne af drivhusgasser i atmosfæren på et niveau, der forhindrer farlig indvirkning på det globale klimasystem. For at nå dette mål, har FN's klimapanel (IPCC) beregnet, at den årlige, globale, gennemsnitlige overfladetemperatur ikke må stige mere end 2°C over det førindustrielle niveau. Samtidig har nylige videnskabelige forskningsresultater udført i IPCC regi vist, at hvis dette langsigtede temperaturmål skal være inden for rækkevidde, så skal de globale drivhusgasemissioner toppe inden for de næste årtier og falde med mindst 15% og måske helt op til 50% i 2050 i forhold til 1990 niveauerne.

Dette er baggrunden for, at EU på miljørådsmødet i marts 2005 konkluderede, at de industrialiserede lande må overveje reduktioner i størrelsesordenen 15-30% i 2020 og 60-80% i 2050, hvis der skal være plads til økonomisk vækst i udviklingslandene.

Rådet forholder sig også til EU-Kommissionens rapport (meddelelse): *Winning the battle against global climate change, Commission of the European Communities (2005)*, se en beskrivelse af rapporten i afsnit 4.2. Efter Rådets opfattelse er der stadig flere videnskabelige beviser for, at fordelene ved at begrænse stigningen i den globale temperatur til 2°C rigeligt opvejer omkostningerne ved at reducere CO₂-udledningen. Rådet understreger også betydningen af en øjeblikkelig og effektiv gennemførelse af politikker, som nedbringer CO₂-udledningen, og at det vil kunne blive nødvendigt at stabilisere koncentrationerne på langt under 550 ppm CO₂-ækvivalenter.

Rådet opfordrer EU-Kommissionen til at fortsætte sin cost-benefit-analyse af den fremtidige klimapolitik, herunder bl.a. at belyse fordelene ved klimaændringer, omkostningerne ved passivitet og en økonomisk vurdering af skader forårsaget af klimaændringer. Formålet med projektet, som denne rapport er et første bidrag til, er at belyse omkostningerne for Danmarks økonomi ved drivhusgasreduktioner på 60-80% i 2050.

Scenariet, der opstilles i projektbeskrivelsen for 2050 er:

- et globalt dækkende klimasamarbejde, dvs. at alle verdens lande har forpligtet sig til nationale mål om CO₂-reduktion
- en global reduktion på 15-50% i år 2050, svarende til, at verdens nuværende industrilande reducerer deres udledning af drivhusgasser med 60-80%.

Rapporten giver et overblik over relevante studier og konklusionerne heri. I beskrivelsen af studierne fokuserer vi på de samfundsøkonomiske omkostnin-

1. EU's statsministre anbefalede målet i 2020, men henviste derefter blot til miljøministrenes anbefalinger på det lange sigt (2050-målsætningen), rådsmødet vedtog således kun et mål for 2020.

ger ved at reducere udledningen af drivhusgasser på de scenarier, som er blevet analyseret, på de modeller, som er anvendt, og endelig på de forudsætninger, som er lagt til grund for de gennemførte analyser.

Rapporten er opbygget på denne måde:

I afsnit 2 gennemgås nogle centrale studier af omkostningerne ved at reducere udledningen af drivhusgasser, heraf tre studier, som projektets følgegruppe har peget på. Disse er udarbejdet af henholdsvis EU-Kommissionen, Det Europæiske Miljøagentur (EEA) og Department of Trade and Industry i England. I afsnit 3 giver vi en kort beskrivelse af nogle af de klimamodeller, som er blevet anvendt i de udvalgte studier til at analysere forskellige scenarier for reduktion af udledningen af drivhusgasser. I afsnit 4 gennemgår vi, efter følgegruppens ønske, nogle kilder til prognoser for den fremtidige teknologiske udvikling. Rapporten indeholder derudover en oversigt over den litteratur, vores litteratur survey bygger på.

2 Klimascenarier

Dette afsnit tager udgangspunkt i tre rapporter, som i særlig grad har haft følgegruppens opmærksomhed:

- Det Europæiske Miljøagentur: »Climate change and a European low-carbon energy system« (EEA, 2005a)
- Den Europæiske Kommission: »Winning the battle against global climate change«, (Commission of the European Communities, 2005)
- Det engelske Department of Trade and Industry: »Options for a low carbon future: Review of modelling activities and an update«, (DTI, 2005).

Derudover indeholder afsnittet en kort gennemgang af øvrige studier, som vi i litteratursøgningen har fundet er relevante. Kriteriet for relevans har været litteratur, som belyser omkostningerne ved drivhusgasreduktioner på 60-80% i 2050 under den forudsætning, at der gennemføres et globalt dækkende klimasamarbejde. Da der kun findes et meget begrænset materiale, der vedrører omkostningerne for Danmark, er der screenet for litteratur, hvor procentsatser eller antagelser kan overføres til danske forhold.

2.1 Det Europæiske Miljøagentur: Climate Change and a European Low-carbon energy system, EEA (2005)

Rapporten er en vurdering af forskellige muligheder for at reducere drivhusgasemissionerne ved hjælp af en global transition til et low carbon energy-system i Europa i 2030. Rapporten er således et bidrag til en politisk debat om EU's og globale post-2012-strategier. Den tager udgangspunkt i forskellige EEA-rapporter fra 2003 og 2004, tekniske papirer og nationale studier, Criqui et al., 2003. Informationer, der specifikt omhandler scenarierne og modelleringen, vil blive offentliggjort på EEA's hjemmeside i slutningen af 2005.

2.1.1 Målsætning og afgrænsning

Det er EU's målsætning at begrænse temperaturstigningen til 2°C over det præindustrielle niveau. For at nå denne målsætning vurderes det, at drivhusgaskoncentrationen skal ligge godt under 550 ppmv CO₂-equivalenter, hvilket ca. svarer til 450 ppmv CO₂. Rapporten omhandler drivhusgasserne: kuldioxid (CO₂), metan (CH₄), lattergas (N₂O), ozon (O₃) og halocarboner (halogenated gases) (CFC'er, HCFC'er, HFC'er, PFC'er og SF₆).

Analyserne for rapporten er baseret på, at den globale emission skal »nedbringes« til en stigning på 35% i forhold til 1990-niveauet i 2020 og efterfølgende at falde til 15% under 1990-niveauet i 2050 for at nå målsætningen (p7). Rapporten konkluderer endvidere, at de udviklede lande bliver nødt til at reducere deres emission til 60-80% i 2050, sammenlignet med udviklingslandene for at sikre en stabilisering. I rapporten er EU's emissionsreduktionsmål derfor på 20% under 1990 niveauet i 2020, 40% under i 2030 og 65% under 1990-niveauet i 2050. På trods af at der i rapportens formål står, at tidshorisonten er frem til 2050 – er mange af fremskrivningerne ikke længere end til 2030.

2.1.2 Scenarier for reduktion af drivhusgasser

I rapporten indgår der et klima-action-scenario – »A global low-carbon energy system«. Scenariet blev udarbejdet før de nye ovenstående udmeldinger i EU, men ligger inden for rammerne af EU's Environmental Council, 11. marts 2005 (boks 1.1-p. 12). Scenariet vil blive uddybet i den underliggende tekniske EEA-rapport (EEA, 2005b forthcoming) og i Criqui et al. (2003). Klima-action-scenariet tager udgangspunkt i en CO₂-kvotepris på Euro 65/t CO₂.

På det globale niveau er scenariet baseret på forskellige studier (se Criqui et al., 2003; van Vuuren et al., 2003), mens det europæiske scenario er lavet på baggrund af PRIMES – en partiel ligevægtsmodel (Mantzos et al., 2003). Den Europæiske del er udvidet til også at omfatte ikke-CO₂-drivhusgasser ved hjælp af en model udviklet af EEA (Bates et al., 2004) og ikke-CO₂-energiemissioner og kulstof »sinks« ved hjælp af IMAGE- og TIMER-modellerne (IMAGE, 2001) og FAIR-modellen (Criqui et al., 2003). Endvidere er POLES blevet brugt til at beregne globale energi- og CO₂-emissionsscenarier.

Rapporten tager udgangspunkt i et **baseline scenario** – der er kendetegnet ved en moderat økonomisk vækst med en »diverse« udvikling af det Europæiske energisystem (boks 1.2 - p. 13). Befolkningstallet er projekteret til at være relativt stabilt i det kortere og medium forløb/tidsrum og til endda at falde i det længere forløb. Derfor skyldes en stigning i energiforbruget indkomststigninger. Baseline-scenariet tager ikke forbehold for/ medregner ikke de klimaaftaler (policies), der er indgået som følge af implementeringen af Kyoto-protokollen.

I **klima action-scenariet, »A global low-carbon energy system«**, er det globale energiforbrug begrænset til mere end 40% af baseline-scenariet i 2050. Den største reduktion ligger i et reduceret kulforbrug (med 70% i 2050). Andre reduktioner finder sted i husholdningerne, ved en reduktion af brugen af »industrial fluorinated gases«, inden for den kemiske industri, affaldshåndtering, landbrug, og kulstoflagre.

I rapporten nævnes der fire forskellige strategier for at opnå klima-action-scenariet »A global low carbon energy system« i forhold til baseline-scenariet;

- En low carbon energy pathway (LCEP)
- en udvidet vedvarende energi ressource strategi (Ren max)
- en udvidet atomkraft strategi (Nuc-)
- en udfaset atomkrafts strategi (Nuc+)

Rapporten lægger især vægt på LCEP-strategien, mens de andre strategier bliver mere sporadisk nævnt.

2.1.3 Omkostninger ved reduktion af drivhusgasser

I rapporten er der opført forskellige typer af omkostninger. Således er omkostningerne på det globale niveau opgjort som finansielle omkostninger, hvilket betyder, at makroøkonomiske feedback ikke er medregnet, mens de europæiske omkostninger er opgjort i økonomiske omkostninger (for diskussion se p. 58 og 59). Derfor er tallene for hhv. det globale og det europæiske niveau ikke direkte sammenlignelige. De fleste omkostninger er kun estimeret frem til 2030.

Rapporten viser på globalt niveau, at en reduktion af drivhusgasserne medfører en ekstra omkostning i forhold til baseline-scenariet på 0,45% af BNP i 2030 og 0,8% i 2040. Herefter stiger udgifterne langsommere end den forventede stigning i BNP. For Europa er de projekterede omkostninger lidt lavere end det globale niveau. LCEP-scenariet vil koste Euro 100 mia. mere end baseline-scenariet i 2030 – svarende til 0,6% af BNP, hvilket er projekteret til at fordobles fra 2000 til 2030. Gennemsnitsomkostningerne til energiproduktionen vil i denne periode forøges med 25%. Tabel 2.1 viser de forventede omkostninger for EU's energisektor.

Tabel 2.1

De forventede omkostninger for EU's energisektor (el- og varmeproduktion)

EU-25	Baseline			LCEP	Ren max	Nuc-	Nuc+
	2000	2020	2030	2030			
(Mia. Euro (2000))							
Investeringsomkostninger	61	61	91	94	102	99	97
Årlige operationelle og transitionsomkostninger	100	130	140	133	133	135	135
Brændstofomkostninger	48	76	87	154	155	170	148
Total (Mia. Euro (2000))	209	267	318	381	390	404	380
Værdien af grønt certifikat	0	0	0	0	4,5	0	0
Grønt certifikat-omkostninger opgjort som stigning i elprisen	0	0	0	0	1,2	0	0
Gennemsnitlige produktionsomkostninger (ct/kWh)	5,3	5,0	5,4	6,8	7,1	7,3	6,7

Kilde: Projected costs for the EU energy sector (Table 6.2 - p. 62).

For den industrielle sektor i Europa vil LCEP-scenariet i 2030 repræsentere et gennemsnit på 1,6% af værditilvæksten i sektoren sammenlignet med baseline-scenariet. For servicesektoren udgør LCEP-scenariet i 2030 kun 0,2% af værditilvæksten, grundet det lavere energiforbrug i denne sektor. På husholdningssniveau, er den ekstra omkostning ved LCEP-scenariet i 2030 projekteret til at blive relativt lav på kun 110-120 Euro pr. husholdning. Dette beløb skal ses i sammenligning med baseline-scenariet, hvor energiregningen for de enkelte husholdninger stiger med hhv. 1900 Euro for EU-15-landene og 3400 Euro for EU-10-landene i 2030 sammenlignet med 2000. For den udvidede vedvarende energiressourcestrategi (scenario), hvilket medfører en større reduktion i kulstofemissionerne, vil energiregninger stige (yderligere) 10-20 Euro pr. husholdning i år 2030. Betragtelige fordele ved et »low carbon energy system« kan forventes. Disse er ikke medregnet i modellerne. Tabel 2.2 viser de projekterede energiomkostninger for EU-25-landene for husholdningerne, industri- og servicesektoren og totalt.

Tabel 2.2
De projekterede omkostninger for EU-25 for husholdninger, industri- og servicesektoren og total t.

Baseline	2000	2002	2030	2030			
				LCEP	Ren max	Nuc-	Nuc+
(procent af værditilvæksten)							
Industri	9,2	7,1	6,4	7,9	8,1	8,2	8
Servicesektor	1,6	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6
Husholdninger	5,6	7,9	8,2	8,5	8,5	8,5	8,5
All kategorier	6,2	6,9	6,9	7,5	7,6	7,6	7,5
Husholdninger (I absolutte værdier; Euro (2000)/husholdning/år)							
EU-15	1.660	2.940	3.580	3.690	3.710	3.720	3.710
EU-10	930	3.280	4.340	4.460	4.470	4.490	4.480
EU-25	1.550	2.990	3.700	3.800	3.810	3.820	3.810
Transportsektoren (Euro pr. pkm eller tkm rejst pr. år)							
Passagerer	0,21	0,22	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25
Fragt	0,27	0,3	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32

Kilde: Projected EU-25 energy costs for households, industry, services and total (Table 6.3 - p. 63).

2.1.4 Anvendte analysemodeller og beregningsforudsætninger

Følgende modeller er blevet anvendt til at generere resultater til rapporten: FAIR (Framework to Assess International Regimes for differentiation of commitments (by RIVM)), IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment (by RIVM)), POLES (Long-term Energy Supply and Demand Projections (by JRC-IPTS)), PRIMES (Energy System Model for the EU (by IIASA) and TIMER (Target Image Energy Regional (by RIVM)). Rapporten indeholder som hovedregel ikke en egentlig beskrivelse af modellerne eller en redegørelse for antagelserne i modellerne (dette er især gældende for de økonomiske beregninger).

PRIMES blev brugt til at analysere de forskellige fremtidige strategier. I rapporten diskuteres forskellige aspekter med hensyn til udviklingen i energisektoren, så som forbedringer i energieffektivitet og ændringer i andelen af de forskellige fossile brændstoffer. Endvidere beskrives forskellige teknologiske tiltag i forhold til baseline-scenariet. Der lægges især vægt på:

- **vedvarende energikilder** – der vurderes til at spille en vigtig rolle i et fremtidigt bæredygtigt energi system på grund af de lave emissioner af drivhusgasser
- **kulstofopsamling og lagring** – der ses som en mulighed for at fortsætte brugen af fossile brændstoffer under betydeligt lavere drivhusgas emissioner (85-90%)
- **brint** – der ses som fremtidens energikilde
- **kernekraft** – hvis rolle stadig er uafklaret.

2.1.5 Vurdering af rapporten

I rapporten er EU's emissionsreduktionsmål på 20% under 1990-niveauet i 2020, 40% under i 2030 og 65% under 1990-niveauet i 2050. Herved passer den fint ind i de begrænsninger, der opstilles til dette litteraturstudie. Som det fremgår af rapportens formål er tidshorisonten 2050. Desværre går mange af fremskrivningerne ikke længere end til 2030. Endvidere har rapporten et Europæisk fokus og omtaler derfor ikke nationale omkostninger, herunder heller ikke specifikke omkostninger for Danmark.

Rapporten er omfattende, men de specifikke antagelser, der ligger til grund for beregningerne, indgår ikke i rapporten og er endnu heller ikke offentligt tilgængelige. Der bruges mange forskellige beregningstyper og angivelser af omkostninger, der umuliggør en direkte sammenligning på det globale og det europæiske niveau. Samlet gør det det meget svært at sammenligne resultaterne fra rapporten med de andre studier, der gennemgås i denne rapport.

2.2 Commission of the European Communities (2005), Winning the battle against global climate change

Rådet har bedt Kommissionen vurdere omkostninger og fordele ved en mellem- og langsigtet klimastrategi, inkl. klimamål. Kommissionen har den holdning, at en sådan klimastrategi skal bygge på omkostningseffektive virkemidler og stræbe mod lave bekæmpelsesomkostninger. Kommissionen betragter rapporten som et debatindlæg i forhold til Rådet, hvor hensigten har været at identificere og analysere de faktorer, som har størst indflydelse på EU's bekæmpelsesomkostninger, p. 23.

2.2.1 Målsætning og afgrænsning

Status for resultaterne af EU's klimapolitik er, at udledningen af drivhusgasser i EU's 25 medlemslande er blevet reduceret med 9% i år 2002 sammenlignet med basisåret 1990, p. 4. Som led i at anvende fleksible markedsmekanismer til at reducere bekæmpelsesomkostningerne indførte EU pr. 1. januar 2005 et marked for handel med CO₂-kvoter.

Rådet for de Europæiske Fællesskaber har på baggrund af resultater fra IPCC besluttet, at det langsigtede mål for klimapolitikken skal være at begrænse den globale temperaturstigning til maksimalt 2°C sammenlignet med »pre-industrial level«, p.5. Dette vurderes at svare til en stabilisering af CO₂-indholdet i atmosfæren på 550 ppmv (parts per million by volume), p. 6, selv om Kommissionen erkender, at sammenhængen mellem temperaturstigning i indhold af drivhusgasser i atmosfæren er usikker.

Kommissionen erkender, at målet om en maksimal temperaturstigning på 2°C kun kan nås, hvis en global klimaafte har tilslutning fra andre ilande end EU og derudover også af de mest betydningsfulde ulande, p. 7. Denne erkendelse skal ses på baggrund af, at EU's andel af den globale drivhusgasudledning lige nu kun udgør 14%, og denne andel forventes i basisscenariet at blive reduceret til kun 8% i år 2050.

2.2.2 Scenarier for reduktion af drivhusgasser

EU-Kommissionen analyserer ikke selv scenarier for fremtidig drivhusgasudslip, men refererer resultater af en række uafhængige undersøgelser, som er baseret på forskellige modeller og antagelser. Derved er det vanskeligt at sammenligne resultaterne, hvilket Kommissionen heller ikke i særlig stor udstrækning har forsøgt.

Et gennemgående scenario er en stabilisering af CO₂-indholdet i atmosfæren på 550 ppmv (parts per million by volume). Dette scenario suppleres med følsomhedsanalyser af konsekvenserne af 450 og 650 ppmv-scenarier. Dette gør Kommissionen, fordi der er usikkerhed forbundet med at fastlægge sammenhængen mellem CO₂-koncentrationen i atmosfæren og ønsket om en maksimal temperaturstigning på højst 2°C.

Rapporten identificerer de elementer i klimaaftaler og i en bekæmpelsesindsats, som har størst indflydelse på bekæmpelsesomkostningerne, p. 24:

- Ambitionsniveau og tempo for reduktion af drivhusgasser
Hvor stor en udledning kan man acceptere, og hvor hurtigt ønsker man at reducere den aktuelle udledning til dette niveau?
- Graden af tilslutning og national forpligtelse til klimaaftalen
Tre scenarier for EU's omkostningsbyrde under alternative antagelser om national tilslutning til en fremtidig klimaaf tale opstilles og analyseres, p. 26-27:
 - I. Annex 1 lande fastfryser udledning
Alle Annex 1 lande fastholder Kyoto-målene frem til år 2025. For EU-25 betyder det, at i 2025 skal EU-landene have reduceret udledningen af drivhusgasser med 8% sammenlignet med niveauet i 1990.
 - II. EU fastfryser udledning
I 2025 har EU-25 reduceret udledningen af drivhusgasser med 8% sammenlignet med niveauet i 1990. Ingen andre lande påtager sig forpligtelser efter 2012.
 - III. EU reducerer udledningen
I 2025 har EU-25 reduceret udledningen af drivhusgasser med 20% sammenlignet med niveauet i 1990. Ingen andre lande påtager sig forpligtelser efter 2012.
- Hvilke styringsmidler anvendes?
Tre former for markedsbaserede styringsmidler til at opnå en mere omkostningseffektiv reduktionsindsats nævnes: (1) Omsættelige kvoter, (2) JI (Joint Implementation) og (3) CDM (Clean Development Mechanism).
- Den teknologiske udvikling
Teknologiske fremskridt vil bidrage til at reducere fremtidige bekæmpelsesomkostninger.
- De politiske muligheder og betingelser
Stabile vilkår for at investere i bæredygtige energiteknologier er vigtigt, fx er det bedre at annoncere en drivhusgaspolitik i god tid end at ændre i vilkårene uden varsel. Rapporten indeholder en reference til et studie af Goulder (2004), der har vist fordelene ved sådan en langsigtet udmelding.

2.2.3 Fordele ved drivhusgasreduktion

Uden at gennemføre en selvstændig cost-benefit-analyse på reduktion af drivhusgasser i atmosfæren, så er det den tankegang, der præger rapportens opfattelse af det globale drivhusgasproblem. Cost-benefit-analysen er som bekendt en økonomisk analyse, der sammenligner fordele med ulemper (opgjort i monetære enheder) for at finde ud af, om et projekt er lønsomt.

EU-Kommissionens tankegang er, at omkostningerne, ved at bekæmpe drivhusgasudledningen, skal sammenlignes med fordelene, som består i, at en række skadeeffekter, som opstår ved ikke at gøre en aktiv bekæmpelsesindsats, kan formindskes. Referencescenariet er altså »business as usual«. Rapporten beskriver forskellige typer af globale fysiske effekter (impacts) som sandsynlige konsekvenser af en øget global temperatur, p. 14-19.

I rapporten benævnes fordelene som »the costs of inaction« – altså omkostningerne ved ikke at gribe ind med en aktiv bekæmpelsesindsats. Kommissionen erkender, at der er stor usikkerhed forbundet med at estimere omkostningerne ved ikke at gøre noget, ligesom der selvfølgelig også er stor usikkerhed forbundet med at vurdere, hvad bekæmpelsesomkostningerne er. Som skøn for »the costs of inaction« refereres et forskningsstudie af Downing og Watkiss (2003) p. 20, hvor de marginale skadesomkostninger under hensyntagen til usikkerhed er opgjort til 14-80 Euro (ca. 100-600 DKK) pr. ton CO₂ ved nuværende udledning, og dette omkostningsniveau vil stige fremover. De samlede globale omkostninger er estimeret ved hjælp af PAGE-model² til 74 trillion Euro (nutidsværdi frem til år 2200), p. 21.

Fordelene ved drivhusgasreduktion skal sammenlignes med omkostningerne ved at gennemføre reduktionerne. Disse omkostninger er belyst i rapportens afsnit 4.

2.2.4 Omkostninger ved reduktion af drivhusgasser

EU-rapportens vigtigste afsnit er 4.2.2, hvor der refereres resultater af eksisterende undersøgelser, der har beregnet de økonomiske omkostninger i forbindelse med følgende elementer af en klimaaftale

- ambitionsniveau for reduktion af drivhusgasser
- graden af tilslutning og national forpligtelse til klimaaftalen
- effekten af at anvende styringsmidler (flexible mechanisms).

Tabel 2.3 sammenfatter de omkostningsskøn, som refereres i rapporten i forbindelse med »ambitionsniveau for reduktion af drivhusgasser«.

Tabel 2.3
Omkostninger ved drivhusgasreduktion

Datakilde	Scenario	År/periode	EU-25 omkostninger (% af BNP)	Anvendt model
UNFCCC, Criqui et al. (2003)	550 ppmv	2025	0,9 – 1,8 0,5	POLES AGL model (unavngiven)
	650 ppmv	2025	0,1-0,2 0,12	POLES AGL model (unavngiven)
IIASA, Nakicenovis and Riahi (2003)	500 ppmv	2025	0,6-1,1 (global)	-
		2100	0,3-1,7 (global)	-
IPCC 2001 Manne og Richels (2004) p.25	550 ppmv CO ₂	2050	0,2-1,8 (global)	-
	450 ppmv CO ₂	2050	1-4 (global)	-
	550 ppmv CO ₂ 550 ppmv	2000-2100 2000-2100	0,2 (gl forbrug) 0,1 (gl forbrug)	- -

Note: De refererede ppmv-scenarier er for alle drivhusgasser (»multi-gas-scenarier«) med mindre det er fremhævet, at der kun er taget højde for CO₂-koncentrationen. »Global« = global omkostning, »gl forbrug« = global forbrugsreduktion.

2 PAGE-modellen bygger på Monte Carlo-simulering på baggrund af sandsynlighedsfordelinger, dvs. håndterer usikkerhed på beregningsforudsætningerne.

Som det fremgår af tabellen afspejler IPCC's omkostninger alene mulighederne for at reducere CO₂-udledning og ikke mulighederne for at reducere andre drivhusgasser. Denne restriktive antagelse betyder, at omkostningerne ved at stabilisere udledningen af drivhusgasser overvurderes, fordi man derved afskærer sig fra at undersøge, om der skulle findes billigere reduktionsmuligheder for de øvrige drivhusgasser. Dette illustreres af de resultater, Manne og Richels har opnået (se tabel 2.3). IPCC har heller ikke taget hensyn til endogen teknologisk udvikling. Også denne antagelse betyder, at reduktionsomkostningerne overvurderes.

Det er på grund af forskellige beregningsforudsætninger og valg af scenarier vanskeligt at sammenligne resultaterne i tabel 2.3. Med fokus på 550 ppmv-scenarier så udspænder de refererede studier et omkostningsinterval på 0,2 til 1,8% af BNP.

Ud over ambitionsniveauet for reduktion af drivhusgasser i atmosfæren har graden af tilslutning og national forpligtelse til klimaafspraken stor indflydelse på de omkostninger, der skal bæres af de deltagende lande. Tabel 2.4 viser resultaterne af de tre tilslutningsscenarier beskrevet i afsnit 2.2.2:

- I. Annex 1-lande fastfryser udledning
- II. EU fastfryser udledning
- III. EU reducerer udledningen.

Tabel 2.4
EU's omkostninger ved alternative scenarier for tilslutning til en fremtidig klimaaftale (procent af BNP i 2015)

Scenario	POLES-model (partiel)	GEM-E3-model (generel)	Global reduktion af drivhusgasser
Annex 1-lande fastfryser	0,04	0,045	7,3
EU fastfryser udledning	0,01-0,03	0,015-0,78	3,3
EU reducerer udledning	0,02-0,06	0,02-1,67	3,9

Tabel 2.4 viser – ikke overraskende – at størst reduktion af udledningen af drivhusgasser på 7,3% opnås, når alle lande påtager sig reduktionsforpligtelser (scenario I). Mere interessant er det, at effekten på den globale udledning af, at EU reducerer udledninger yderligere i forhold til det nuværende Kyoto-mål, er lille, når andre lande ikke deltager i aftalen (udledningen reduceres kun fra 3,3 til 3,9%). Den begrænsede effekt er samtidigt dyr for EU, idet den fører til en fordobling af reduktionsomkostningerne. Dette resultat er også interessant i et dansk perspektiv.

I den nuværende EU-byrdefordelingsaftale har Danmark, sammenlignet med andre lande i EU-påtaget sig en relativt stor forpligtelse til at reducere sin udledning af drivhusgasser. Hvis man ser bort fra, at Danmark kan fremstå som en rollemodel til efterlevelse, vil effekten af Danmarks forpligtelse på den globale udledning i sig selv være yderst begrænset. Derudover, vil effekten formentlig også blive realiseret til en væsentlig højere omkostning, end det ville have været tilfældet, hvis klimaafspraken havde global tilslutning. Indførelsen af fleksible mekanismer vil dog medføre, at de nationale bekæmpelsesomkostninger reduceres.

Betydningen af at anvende fleksible mekanismer til at gennemføre CO₂-reduktioner er også belyst i rapporten, men det er gjort meget summarisk.

Baseret på resultater af uafngivne undersøgelser, anslår Kommissionen, at fleksible mekanismer (kvotehandel, JI og CDM) kan reducere bekæmpelsesomkostninger med til ½. Undersøgelser viser også, at kvotehandel er et mere effektivt reguleringsmiddel end JI og CDM, og at etableringen af et internationalt marked for kvoter vil resultere i lavere bekæmpelsesomkostninger end et isoleret EU-kvotemarked. Endelig skønner Kommissionen, at den samlede handel med kvoter vil udgøre 1,5-6 mia. ton i år 2025 svarende til en omsætning på 50-800 mia. Euro, af hvilke 7-230 mia. Euro vil være EU's nettoudgift til køb af kvoter.

Rapporten indeholder en del bilag med resultater af økonomiske analyser, som kun omtales summarisk i rapporten. De fleste bilag refererer til undersøgelsen af UNFCCC, Criqui et al. (2003). Denne undersøgelse er omtalt i afsnit 2.4 i dette notat.

2.2.5 Vurdering af rapporten

EU-rapporten bygger på resultater af mange uafhængige undersøgelser, som indebærer den svaghed, at de refererede resultater bliver vanskelige at sammenligne, fordi undersøgelserne bygger på forskellige antagelser og scenarier, hvoraf kun meget få er dokumenteret i rapporten. Dette indebærer, at man er nødt til at søge mere information i de refererede kilder, hvis man vil have klarhed over de antagelser, der er anvendt fx om økonomisk vækst, teknologisk udvikling og energiprisudvikling. Væsentlige kilder til EU-rapporten er UNFCCC og IPCC. Væsentlige økonomiske modeller, som er refereret i rapporten, er POLES og GEM-E3.

Et gennemgående scenario, som binder de forskellige undersøgelser sammen, er et 550 ppmv-scenario, som kædes sammen med Rådets ønske om, at stigningen i den globale temperatur ikke kommer til at overstige 2°C. Med hensyn til projektbeskrivelsens ønske om at finde relevante omkostningsscenarier for år 2050, så matcher IPCC's analyser dette referenceår, hvorimod UNFCCC-rapporten blot analyserer udviklingen frem til år 2025.

EU-rapporten indeholder ikke vurderinger af Danmarks CO₂-omkostninger i 2050 eller for den sags skyld andre landes omkostninger. Rapporten har fokus på enten hele verden eller EU (EU 25) og indeholder omkostningsskøn for EU som helhed. Omkostningerne er opgjort som procent af BNP (p. 25 og 27) og er det tætteste rapporten kommer på en vurdering af Danmarks CO₂-reduktionsomkostninger.

2.3 Department of Trade and Industry, »Options for a low carbon future: Review of modelling activities and an update« (DTI, 2005)

DTI rapporten »Options for a low carbon future: review of modelling activities and an update« beskriver resultater genereret via energimodellen MARKAL. Resultaterne ligger til grund for Englands »2003 Energy White Paper«, som en mindre hvidbog med konkrete planer til regeringsforanstaltninger.

Rapporten beskriver de forskellige scenarier og sensitivitets-analyser, der bliver brugt i MARKAL-modellen. Det er en »bottom up«-teknologibaseret model, der identificerer den billigste kombination af teknologiske processer og forbedrede muligheder, der tilfredsstillende specificerede niveauer af »goods and services« under forskellige begrænsninger, med det formål at minimere de samlede omkostninger. Generelt er der to typer af begrænsninger; teknologi-

ske og energiresourcebetingede begrænsninger, og begrænsninger i form af politiske målsætninger. Som eksempel kan nævnes, at overholdelsen af drivhusgasreduktionsmål er den mest undersøgte politiske begrænsning i modellen. I MARKAL anvendes fremskrivninger, der løber over tiårsperioder.

Modellen er blevet brugt til at finde løsninger på Storbritanniens energisystem op til 2050 for tre forskellige scenarier for hhv. CO₂-reduktionsmål i 2050 på 45%, 60%, og 70%. Endvidere er der i rapporten blevet udregnet et halvvejsresultat for år 2030. I modellen laves der forskellige antagelser om omkostninger, ydeevne, og emissioner af forskellige alternative udbud og efterspørgsel i teknologier, der er tilgængelige i de fem årtier. (Se p. 4). Grundet de mange usikkerheder er der i modellen lagt stor vægt på sensitivitetsanalyser.

DTI-rapportens modelberegninger omhandler kun CO₂-emissioner. Endvidere bruger den år 2000 som referenceår. Herved adskiller den sig fra mange af de andre beregninger/rapporter, der tager udgangspunkt i 1990 som referenceår.

Metode

Rapporten undersøger tre scenarier, der ved hjælp af MARKAL-modellen estimerer en mulig fremtid for Storbritanniens økonomi og de relaterede energibehov. De tre scenarier er valgt med baggrund i, at de skal passe sammen med andre regeringsanalyser i Storbritannien. Hvert scenario er baseret på trends i BNP, befolkningsudvikling, samt strukturelle ændringer (reduktioner i den energiintensive industri, eller ændringer i transportsektoren). Følgende scenarier er opstillet:

- Et baseline scenario (BL)
Baselinescenariet er en fortsættelse af de nuværende trends i økonomi og miljøpolitik. I scenariet regnes med en årlig vækst i BNP på 2,25%
- Et verdensmarked scenario (WM)
Verdensmarkedsscenariet er baseret på individuelle forbrugerværdier, en høj grad af globalisering og en sparsom hensyntagen til det globale miljø. I scenariet regnes med en årlig vækst i BNP på 3%
- Et globalt bæredygtigt scenario (GS)
Det globale bæredygtige scenario (GS) er baseret på en dominans af sociale og økologiske værdier, stærke fælles miljømæssige tiltag og globalisering af styringssystemer og mekanismer. I GS-scenariet regnes med en årlig vækst i BNP på 2,25%.

De tre scenarier er uddybet i Anneks 2 i DTI-rapporten.

For hvert scenario er tre niveauer af ændringer i drivhusgasemissionerne estimeret for år 2050 i forhold til år 2000, hhv. en reduktion på 45%, 60% samt 70%. Til rapporten er over 70 forskellige sæt af scenarier og teknologiske forudsætninger undersøgt, baseret på følgende low carbon-teknologier og metoder:

- En øget vækst i energieffektiviteten i private hjem, industrier, handel og transport
- Vækst i brugen af naturgas (til elektricitet)
- Brugen af kul og naturgas til elektricitetsproduktion, hvor kulstoffet opsamles og gemmes i geologiske formationer

- Atomkraft
- Vedvarende energiteknologier (vind, bølge, sol, biomasse, biobrændsel til transport)
- Decentraliseret varme- og elproduktion baseret på nye mikroteknologier
- Brintproduktion (fra gas, kul og biomasse inkl. kulstoflagring)
- Brintproduktion fra elektrolyse til brug i private hjem, industri- og transportsektoren (fra vedvarende energi og atomkraft).

Resultater

I rapporten er valgt kun at vise nogle af de vigtigste resultater, hvorfor det ikke er muligt i denne rapport at fremstille tabeller e.l., der giver et godt samlet overblik over resultaterne. Rapporten konkluderer, at der findes mange forskellige kulstofreduktionsmuligheder både inden for energiproduktionen, i forhold til at forbedre energi effektiviteten, såvel som i transportsektoren. De totale omkostninger ved de forskellige typer af reduktioner varierer meget og er behæftet med stor usikkerhed, men det konkluderes, at det er usandsynligt, at det vil have en stor indflydelse på væksten i BNP. Innovationer og tekniske forbedringer ses som vigtige elementer i at reducere omkostningerne ved en reduktion i udledningen af drivhusgasser.

Resultaterne i rapporten inddeles i tre hovedområder: forskellige muligheder for reduktion i carbon-emissioner, indvirkninger på omkostninger, priser og økonomisk vækst, og implikationer i forhold til indførelse af nye metoder og teknologier. Nedenfor gennemgås de vigtigste resultater i de tre hovedområder.

Tre generelle resultater fremkom af analyserne:

1. Det er teknisk og økonomisk muligt at lave omfattende reduktioner i drivhusgasudledningen.
2. Omkostningerne ved en målt transition til en low carbon-økonomi 50 år frem i tiden afhænger i høj grad af teknologiske innovationer og er derfor svær at kvantificere i absolutte tal. Til gengæld er de relative omkostninger i forhold til væksten i BNP vurderet til at være 0,5-2% – hvilket er mindre end et års vækst i BNP.
3. Teknologiske innovationer og politik, der støtter udviklingen af nye teknologier, vil blive afgørende for udviklingen af nye teknologier og dermed omkostningerne ved en CO₂-reduktion.

Muligheder for reduktion i carbon-emissioner

For alle tre scenarier er resultatet et fald i carbon-emissionerne, selv om der ikke var indført begrænsninger på emissionerne i modellen. Dette skyldes en allerede startet trend, hvor der på efterspørgselssiden i stigende grad bruges mere energieffektive teknikker, og at der på udbudssiden også sker en udvikling hen imod en mere energieffektiv produktion. Uden begrænsninger på emissioner vil den endelige energieffektivitet stige med 2,3% pr. år sammenlignet med 2,6% pr. år, når der indføres et 60%-reduktionsmål i modellen.

Når carbon emissions-begrænsningerne bliver introduceret i modelanalyserne, betyder det markante ændringer i udbud og efterspørgselsmønstrene i alle sektorer, i forhold til brugen af forskellige tiltag, såsom yderligere forbedringer i »end-use« energieffektivitet, et skift imod non-kulstof-brændsel og ændringer i retning af mere effektive konversationsanordninger.

I rapporten nævnes mange forskellige metoder til at reducere carbon-emissionerne både på udbuds- og efterspørgselsiden inden for både transport-, industri- og servicesektoren og i private hjem. Mange af mulighederne er sammenlignelige i forhold til udgifterne forbundet med dem. Derfor konkluderes det, at der er mange mulige energisystemstrukturer i fremtiden, og at man ikke med baggrund i usikkerheden forbundet med den lange tidshorison kan bruge resultaterne til at udpege egentlige vindere (inden for carbon-reduktionsmuligheder). I stedet fokuserer rapporten på, at der er fem brede grupper af muligheder for at reducere målet om en low carbon future: energi-effektivitet, vedvarende energi, kulstoflagring, atomkraft og brint (energi).

I scenarier, hvor der ikke er begrænsninger på brugen af naturgas, får denne en fremtrædende rolle som én af de vigtigste primære energikilder. Dette skyldes, at den er relativ billig og har et lavt kulstof-emissionsniveau. Ændringer i naturgasprisen medførte ikke store forskydninger i brugen af naturgas i forhold til andre energikilder. Kun når naturgas i scenarierne blev begrænset til 2000-niveauet for at reservere gassen til varme- og brintproduktion, så man en skifte hen imod etableringen af nye atomkraftanlæg, vindenergi og biomas-seanlæg efter 2020.

Brint indgår i scenarioberegningerne, når emissionsbegrænsningerne er medtaget i modellen. I kernescenarierne er brint fremstillet af naturgas med efterfølgende kulstofopsamling og lagring. Brinten bliver primært brugt i transportsektoren. Hvis naturgasforbruget begrænses, bliver en del af brinten produceret ved hjælp af biomasse »gasification«. På grund af de høje omkostninger bliver produktion af brint ved hjælp af elektrolyse af vand ikke anvendt i rapporten. Rapporten konkluderer, at der er store muligheder for at begrænse transitionsomkostninger til en brintbaseret system ved at lave naturgasnettet kompatibelt med brint, eftersom denne infrastruktur alligevel skal ændres over de næste 50 år. Hvis der skal opbygges en helt ny infrastruktur til brint alene, medfører det et begrænset forbrug af brint i analyserne. Hvor brinten »manuelt« skulle transporteres, faldt potentialet yderligere. Dog gøres der i rapporten opmærksom på, at det er en ny teknologi, og derfor er beregningerne behæftet med så store usikkerheder, at der anbefales yderligere analyser.

Mange af scenarierne, og dermed omkostningerne ved en carbon-reduktion, er baseret på brugen af atomkraft og kulstoflagring. Medtages disse ikke i beregningerne af hensyn til sikkerheden, folks holdninger, etc. medfører det kraftige stigninger i reduktionsomkostningerne for alle tre scenarier. Det er dog stadig muligt at opnå de fastsatte reduktionsmål.

Hvis kulstofopsamling og -lagring (i geologiske formationer) ikke anvendes, får det en kraftig indvirkning på brintproduktionen og vil medføre et øget forbrug af atomkraft. Omvendt hvis atomkraft ikke kunne anvendes, vil det medføre et øget forbrug af vedvarende energi og brint. Hvis ingen af de ovennævnte teknologier kan anvendes, vil det betyde et øget forbrug af en bred vifte af vedvarende energityper og mere energieffektive teknologier. Dette ville dog medføre en forøgelse i de diskonterede reduktionsomkostninger på ca. 250%. Dette scenario er ikke urealistisk, men vil medføre et behov for en forstærket politisk indsats med hensyn til udviklingen af forskellige vedvarende energityper.

Omkostninger

Rapporten konkluderer, at omkostningsberegningerne er meget usikre, men under alle omstændigheder bliver effekten på væksten i Storbritanniens økonomi lille.

De tilbagediskonterede reduktionsomkostninger frem til 2050 er blevet beregnet for både 3,5% og 6% – hvilket resulterer i et spænd i omkostninger fra £17 mia. til £170 mia. for alle scenarierne. De fleste omkostningsberegninger ligger mellem £30 mia og £60 mia. De årlige omkostninger ligger mellem £7 mia. og £42 mia., hvoraf de fleste kørsler ligger under £20 mia. De dyreste scenarier er dem med et begrænset optag af energieffektive teknologier, dem med begrænset optag af nye innovationer på udbudssiden, og dem med en begrænset energieffektivitet kombineret med en manglende kulstofopsamling og -lagring.

I modellen er BNP i Storbritannien i 2050 beregnet til at være ca. £2500 mia. Deraf følger, at de årlige reduktionsomkostninger ligger mellem 0,3% og 2% af BNP, hvor de fleste scenarier ligger under 0,5% af BNP i 2050. Dette svarer til en reduktion på mellem 0,01 og 0,02 procentpoint af den gennemsnitlige BNP-vækstrate i perioden 2000-2050. Derfor er indvirkningerne på økonomien ikke betragtelige, men det er derimod de ændringer, der kommer til at ske i energisektoren.

Ser man på effekten på forbrugeromkostningerne, vil der halvvejs i forløbet (2020) ikke være de store forandringer, men i det længere forløb (2050) vil energiomkostningerne være ca. 20% højere for almindelige forbrugere, servicesektoren og industrien, mens transportsektoren vil se stigninger på op til 50%. Det skal dog nævnes, at MARKAL, i tråd med andre »bottom up«-modeller, ikke er i stand til direkte at måle effekten af reduktioner på energipriserne.

De marginale omkostninger af reduktionerne i 2050 varierer for de forskellige scenarier, hvor langt de fleste kørsler ligger på under £900/tC, og hvor over halvdelen af kørslerne ligger under £500/tC. De marginale omkostninger er meget mindre i 2030, typisk i størrelsesordenen £25-£150/tC. De gennemsnitlige reduktionsomkostninger varierer meget mindre mellem scenarierne (p. 11).

Implikationer i forhold indførelse af nye metoder og teknologier

Innovationer og teknologiske fremskridt er altafgørende for at opnå målet om en »low carbon«-økonomi, med nogenlunde samme omkostningsniveau som det nuværende. Vigtigheden af nye innovationer, vises ved to kørsler af modellen med hhv. nye innovationer og status quo. Innovationsscenarioet medførte en emissionsreduktion på GS-scenariet på 15MtC i 2050, hvilket vil sige at emissionerne allerede i 2050 er 45% lavere end 2000-niveauet uden direkte at begrænse emissionsniveauet (CO₂-mål). Derfor er omkostninger for at nå op på 60%-målsætningen meget begrænsede. I scenariet, hvor teknologiniveauet var frosset i 2010, er omkostningerne mere end firdoblet. Eksemplerne er lidt fortænkte, men belyser udmærket vigtigheden af nye innovationer.

I rapporten lægges der stor vægt på, at jo hurtigere man kommer ned på et lavt niveau desto større bliver den samlede effekt på udledningerne af carbon. De diskonterede omkostninger er højere for scenarierne, når reduktionen starter tidligt i sammenligning med, hvis de starter sent i forløbet. Det er dog kun

billigere at udskyde reduktionstiltagene, hvis man ikke foretager de samme kumulative reduktioner i emissionerne.

Rapporten konkluderer vigtigheden af, at reduktionerne sker i alle sektorer for at opnå den billigste reduktion i kulstofemissionerne, hvilket kræver en aktiv politisk stillingtagen. I punktform konkluderes at:

- der er en ligelig fordeling mellem øget energieffektivitet og en overgang til andre/nye brændselstyper
- når emissionsbegrænsningerne strammes, er der en generel tendens til, at energieffektive »measures« først bliver optaget, hvorefter der sker en reduktion i energiproduktionen efterfulgt af reduktioner i transport
- i de fleste scenarier stiger andelen af vedvarende energi i energiproduktionen med mellem 25 og 40% i 2050. Hvis atomkraft og kulstofopsamling og lagring ikke medtages, stiger andelen yderligere
- Energikonversionseffektiviteten (forholdet mellem den endelige energiefterspørgsel og det primære energiudbud) falder faktisk på grund af en øget efterspørgsel for processeret brændstof (elektricitet eller brint) og »the deployment of carbon capture«, hvilket medfører et effektivitets tab.

Konklusion/sammenligning med de andre resultater

Formålet med dette litteraturstudie er at belyse omkostningerne for Danmarks økonomi ved drivhusgasreduktioner på 60-80% i 2050, under forudsætning om et globalt dækkende klimasamarbejde. Der findes endnu ikke litteratur, der lever op til alle specifikationerne i dette formål. Derfor har vi set os nødsaget til at finde litteratur, der ligger så tæt på som muligt. DTI-studiet er ét af dem, der kommer nærmest, idet målet med DTI-rapporten er at finde løsninger på Storbritanniens energisystem op til 2050 for tre forskellige scenarier for CO₂-reduktionsmål på 45%, 60%, og 70% for 2050. I sammenligning med de to andre rapporter vi gennemgår, er det vigtigt at bemærke, at dette studie bruger år 2000 som referenceår. Derfor er resultaterne ikke direkte sammenlignelige. Endvidere omhandler UK-rapporten kun carbon-emissioner. Sidst, men ikke mindst, baseres resultaterne i rapporten på brugen af kernekraft, som ikke anses for en politisk mulighed i Danmark, men derimod er det, eller har været det, i nogle af de lande, som Danmark handler el med, fx Tyskland, Sverige og Finland.

Rapporten sammenligner de beregnede omkostninger fra MARKAL-modellen med andre modeller. De fleste af disse studier kommer frem til et BNP-tab på under 3% i 2050 (se Pacala og Socolow, 2004; Weyant, 2004). Dette resultat er fint i tråd med resultaterne i de to andre rapporter, der gennemgås i dette litteraturstudie.

Rapporten forekommer til tider lidt for opsummerende, hvilket betyder at det ikke har været muligt at generere tabeller, hvor man har kunnet sammenligne resultaterne fra de forskellige scenarier. Noget af talmaterialet, men dog ikke tilstrækkeligt, er tilgængeligt i den tidligere tekniske rapport (DTI (Department of Trade and Industry), 2003).

2.4 Andre studier

Millennium Ecosystem Assessment – Laver vurderinger (baseret på modeller) på de globale og regionale økosystemer og deres funktioner og relationer til human well-being. De udsender jævnligt rapporter – næste nye store Mille-

nium Ecosystem Assessment report udkommer i nov. 2005 (se www.maweb.org).

I seneste rapport – Ecosystem and Human Well-being: Synthesis (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), bliver der lavet beregninger på fire forskellige scenarier frem til 2050. Scenarierne er forskellige bud på, hvordan fremtidens økosystemer og human velfærd ser ud. De er baseret på forskellige antagelser om »driving forces« (såsom økonomisk vækst, teknologisk udvikling, land use og GHG emissioner) og deres interaktioner (se boks 1, p. 15). Rapporten giver et udmærket globalt overblik over nylige historiske udviklinger med hensyn til befolkning, økonomi og økosystemer, men kommer ikke med nogle egentlige bud på, hvad klimaforandringerne kommer til at koste, eller hvad det koster at reducere emissionerne af drivhusgasser. Det er muligt, at de efterfølgende mere specifikke rapporter, der udkommer i november, medtager omkostningsberegninger.

IPTS 2005: Analysis of Post-2012 Climate Policy Scenarios with Limited Participation

Rapporten er udarbejdet af IPTS (Institute for Prospective Technological Studies) og er kilden til de tre scenarier for tilslutning til en ny klimaaf tale, som indgår i EU-rapporten, jf. afsnit 2.2.4. Scenarierne rækker frem til 2025, og analyserne er baseret på to modeller: POLES henholdsvis GEM-E3. Ifølge rapporten er det formålet med rapporten at bidrage med supplerende klimascenarier i forhold til dem, der er beskrevet i UNFCCC 2003, p. 3, som også bygger på de to modeller.

I IPTS-rapporten kan man finde lidt mere dokumentation for resultaterne i EU-rapporten. Tilslutningsscenarioerne bygger på følgende forudsætninger om brug af fleksible mekanismer:

- Kvoter for udledning af drivhusgasser uddeles som udgangspunkt gratis på baggrund af historisk udledning (princippet om »grandfathering«)
- JI og CDM instrumenter simuleres som om, der er et globalt marked for handel med drivhusgaskvoter, og at der ikke er transaktionsomkostninger
- I AGL-analyserne (GEM-E3) antages desuden: Offentligt provenu fastholdes ved, at afgiftsprovenuet fra kvotehandling transfereres til husholdningerne; betalingsbalancen fastlåses i forhold til referencescenariet; og endelig antages det, at kapitalen er mobil mellem sektorer i økonomien, men ikke mellem lande.

Rapporten fremhæver som et hovedresultat, at både analyserne med POLES og GEM-E3 viser, at bekæmpelsesomkostningerne kan reduceres væsentligt, hvis man anvender omsættelige kvoter og JI/CDM.

Analyserne, baseret på den partielle ligevægtsmodel POLES, viser, at de gennemsnitlige bekæmpelsesomkostninger i perioden 2012-2025 udgør 0,008-0,036% af BNP – og mere end det dobbelte, hvis JI/CDM ikke anvendes.

Analyserne, baseret på den generelle ligevægtsmodel GEM-E3, viser, at de gennemsnitlige omkostninger udgør 0,001-0,002% af BNP, hvis man anvender JI/CDM, og 0,039-0,084, hvis man ikke anvender disse styringsmidler, p5. Sidstnævnte omkostningsskøn vedrører de to scenarier, hvor kun EU binder sig til fremtidige klimamål. Analyserne viser, at omkostningerne i år 2025 vil være noget højere: 0,015-0,045% (med JI/CDM) og 0,78-1,67% (uden JI/CDM). Alle omkostninger er beregnet i forhold til et 2025-referencescenario.

Også velfærdseffekterne er blevet beregnet i rapporten ved hjælp af den generelle ligevægtsmodel. Velfærdseffekterne er defineret som husholdningernes nytte af forbrug, fritid og opsparing. For år 2025 er der beregnet en reduktion af velfærden på 0,00-0,14%, når man sammenligner alle scenarier under et. Størst velfærdsreduktion er naturligvis forbundet med det scenario, hvor EU reducerer udledningen mest.

UNFCCC-rapporten, Criqui et al 2003: Greenhouse gases reduction pathways in the UNFCCC process up to 2025

Rapporten findes på EU's hjemmeside, hvor der er en særlig Climate Change homepage, der bl.a. indeholder en oversigt over Studies on Economic Aspects of Climate Change. Et af studierne er ovenstående UNFCCC-rapport, som både præsenteres i form af et executive summary for policymakers:

<http://europa.eu.int/comm/environment/climat/studies.htm>.

og i form af en teknisk baggrundsrapport:

http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/pm_techreport2025.pdf.

Rapporten analyserer et 550 og et 650 ppmv-stabiliseringsscenario og fremhæver den usikkerhed, der er forbundet med at forudsige en sammenhæng mellem stigningen i den globale temperatur og koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren. Rapporten sætter fokus på ligheds- og fairness-begreber, som har været inddraget i forbindelse med de internationale klimaforhandlinger, kap. 2, og bruger dem som afsæt for at fastlægge scenarier for en trinvis tilslutning til en klimaftale, der tager højde for regioner og landes forskellighed. Rapporten koncentrerer analyserne om to tilslutningsscenarier

- Et Per Capita Convergence-scenario, hvor udledningen af drivhusgasser per capita tilstræbes at skulle nærme sig hinanden i de lande, som deltager i aftalen
- Et Multi-Stage-scenario, hvor stigende tilslutning til den globale klimaftale sker i tre tempi over tid, som tager hensyn til landes forskellighed.

Som i de andre studier, vi har omtalt i denne rapport, er der ikke lavet selvstændige analyser for Danmark – kun for »enlarged EU«, dvs. det udvidede EU med nu 25 medlemslande.

De økonomiske analyser gennemføres i rapportens kapitel 4 ved hjælp af både partiel og generel ligevægtsanalyse. De anvendte analysemodeller er: POLES, GEM-E3 og FAIR.

POLES

Akkumulerede reduktionsomkostninger er beregnet, fig. 14 p. 49. Hovedresultater fra POLES er også omfanget af kvotehandel under de to reduktionsscenarier opgjort i mia. Euro i år 2025.

GEM-E3

Generel ligevægtsmodel. Beregner velfærdseffekter og effekter for forskellige erhverv i økonomien. Også i disse analyser er verden opdelt i 13 regioner. En af dem er »enlarged EU«, hvor Danmark indgår. Hovedresultater: Velfærdseffekt og netto salg af CO₂-kvoter.

FAIR

Er beskrevet i afsnit 4.3, p. 70-. Længere tidsperspektiv end i de foregående analyser baseret på POLES og GEM-3. FAIR beregner drivhusgasreduktion,

kvotehandel og reduktionsomkostninger på regionalt niveau frem til 2050. Tabel 29 indeholder regionfordelte omkostninger for år 2050.

Alle beregninger er baseret på en antagelse om omkostningsminimering, og at der er indført et internationalt kvotemarked. For de to udledningsscenarier er tre typer af økonomiske analyser gennemført: Effekt på BNP, nettoprovenu fra kvotehandel og effekt på velfærdsmål.

Følgende resultater fremhæves i rapporten

I 550 ppmv-scenariet stiger de globale bekæmpelsesomkostninger op til et maksimumniveau på 1,2% af verdens BNP i år 2050, hvorefter de falder til 0,6% i år 2100. For 650 ppmv-scenariet udgør omkostningerne 0,2% af BNP i 2050 og 0,3% i 2100. Det bemærkes, at omkostningsniveauet i 650 ppmv-scenariet er væsentligt lavere end i 550-scenariet, og at omkostningerne er stigende gennem hele perioden, om end på et lavt niveau.

Fordelingsanalyserne viser, at lande, der har både har en CO₂-udledning pr. capita i intervallet middelhøj og samtidig har en indkomst, som er lav til middel, kommer til at betale de højeste reduktionsomkostninger målt i forhold til BNP. Der er tale om lande i Latinamerika og Mellemøsten og om Kina. Lande som Danmark med både stor CO₂-udledning pr. capita og høj indkomst kommer til at betale gennemsnitlige omkostninger. Bedst stillet bliver lande i Afrika og Asien, som både har lav udledning og lav indkomst. Nogle lande vil endog kunne opleve en gevinst ved kvotehandel. Opgjort i økonomisk velfærd er det lande i det sydlige Asien, fx Indien og Pakistan, som får relativt størst fordel af at indgå en klimaaftale, fordi de i alle scenarier vil blive nettoeksportører af drivhusgaskvoter.

En svaghed ved UNFCCC-rapporten er, at den i modsætning til fx EU-rapporten, ikke er særlig tilgængelig. Strukturen er ikke helt tydelig, og rapporten tager afsæt i begreber og undersøgelser, som tidligere er blevet lavet. En dybere indsigt i de gennemførte analyser vil derfor kræve nøjere studier af rapporten.

3 Klimamodeller

I dette afsnit gives en kort beskrivelse af nogle af beregningsmodellerne, som er blevet benyttet i de analyser, vi har gennemgået i afsnit 2. Det drejer sig om POLES-modellen, som er refereret i henholdsvis EEA, EU, UNFCCC og IPTS-rapporten. Det drejer sig om GEM-E3, som er blevet anvendt til de analyser, som står centralt i EU, UNFCCC og IPTS-rapporten. Og endelig drejer det sig om MARKAL-modellen, som er blevet brugt til analyserne i DTI rapporten.

Beskrivelsen af modellerne er baseret på IPTS 2005 (POLES og GEM-E3) og på DTI 2003a.

POLES

POLES er hovedsageligt blevet anvendt af EU-Kommissionen, men anvendes også af IEA i forbindelse med udarbejdelsen af World Energy Outlook, jf. afsnit 4. POLES leverer input i form af internationale energipriser og energibalancer på lande/region-niveau. Nyere modelanvendelser har været fokuseret på omkostningsanalyser af klimapolitik.

POLES (Prospective Outlook for the Long-term Energy System) er en global, sektoropdelt simulationsmodel til beregning af efterspørgsel efter og udbud af energi frem til år 2030. I andre kilder karakteriseres modellen også som en partiel ligevægtsmodel, som minimerer omkostningerne ved energiforsyning. Modellen indeholder 38 lande eller regioner. Vi er ikke stødt på en oversigt over, hvilke lande eller regioner, der er inkluderet i modellen. Figur 5 viser dog et verdenskort, hvor de større lande og regioner i modellen kan identificeres.

Der er 15 energiefterspørgende sektorer i modellen (heraf væsentlige industri-sektorer, transportsystemer, husholdninger og serviceerhverv), 12 kraftværks-teknologier og 12 nye og vedvarende energiteknologier.

Oliemarkedet optræder i modellen som et verdensmarked. For at tage højde for regionale omkostningsforskelle antages det, at naturgas og kul handles på tre selvstændige markeder.

Modellen indeholder tre analyseniveauer:

- Internationale energimarkeder
- Regionale energibalancer
- Nationale modeller for energiefterspørgsel, nye teknologier og vedvarende energi, elproduktion, primær energiproduktion og CO₂-udledning.

Efterspørgsel og udbud af energi reagerer i modellen med forskellig tidsforsinkelse på ændringer i de internationale energipriser. Adfærdsrelationer tager hensyn til både pris effekter og teknologiske muligheder.

Der er i IPTS angivet referencer til en uddybende modelbeskrivelse: <http://energy.jrc.es> og European Commission 1996.

GEM-E3

GEM-E3 (General Equilibrium Model for Energy-Economy-Environment) er en generel ligevægtsmodel udviklet med støtte af EU-Kommissionen og nationale myndigheder gennem internationalt forsknings samarbejde, Capros et al. (1997). Modellen er blevet anvendt af flere af EU's direktorater og af nationale myndigheder.

Modellen omfatter 21 regioner i verden og 15 europæiske lande, som er kædet sammen gennem bilateral handel. GEM-E3 repræsenterer samspillet mellem økonomi, energisystem og miljø og beregner samtidig en markedsligevægt og bestemmer den optimale balance for energiforbrug og -produktion og for emissioner og bekæmpelsesomkostninger.

Følgende egenskaber karakteriserer modellen:

- Alle typer markeder og samspillet mellem dem er inkluderet, og markedspriserne sikrer ligevægt på markederne.
- En separat beskrivelse af udbuds- og efterspørgselsadfærd på markederne. Producenter maksimerer deres indtjening (profit), og forbrugerne maksimerer deres nytte.
- Priser bestemmes i modellen som resultatet af udbuds- og efterspørgsels-samspil på markederne, og forskellige markeds-clearings-mekanismer er mulige ud over fuldkommen konkurrence.
- Produktionsteknologier bestemmes (endogen) af modellen, som antager, at produktionsinput bestemmes af prisforhold. I elsektoren kan produktionen baseres på en eksplicit modellering af produktionsteknologierne.
- For husholdningerne skelner modellen mellem varige forbrugsgoder og andre forbrugsgoder og serviceydelser.
- Den er dynamisk og derfor drevet af muligheden for, at der kan akkumuleres kapital over tid.
- Teknologiske fremskridt – hvad enten de er eksogen eller endogen bestemt – er indbygget i produktionsfunktionerne og afhænger af udgifterne til forskning og udvikling i den private og offentlige sektor.
- Muligheden for at analysere forskellige design af kvotehandel og fleksible instrumenter, fx grandfathering, auktion og forskellige former for recycling af provenuet fra kvotehandel.

Der er i IPTS 2005 angivet links til mere detaljeret information om GEM-E3, p. 21.

MARKAL

MARKAL-modellen er anvendt i forbindelse med de analyser, der præsenteres i rapporten fra Department of Trade and Industry i England, DTI (2003): Options for a low carbon future. MARKAL er en bottom-up – og dermed teknologibaseret – model, som kan identificere den billigste sammensætning af teknologier til at tilfredsstille en på forhånd given energiefterspørgsel. Modellen er i stand til over hele den tidsperiode, som analyseres, at minimere de samlede omkostninger i energiforsyningssystemet.

Restriktioner på omkostningerne vil være de på forhånd fastlagte teknologiske muligheder, de fysiske mængder af energiressourcer, kapacitetsbegrænsninger i energisystemet på kort sigt og politisk fastlagte rammebetingelser. Disse restriktioner fastlægger, hvor lave omkostningerne kan blive.

MARKAL drives af prognoser for efterspørgslen efter energi og andre varer og serviceydelser over analyseperioden. Disse prognoser udarbejdes uden for

modellen og bliver derefter givet som modelforudsætninger. Dermed tager modellen ikke højde for efterspørgselstilpasninger som følge af fx højere energipriser.

En svaghed ved MARKAL, når man anvender den til analyser af drivhusgasser, er, at den ikke inkluderer al udledning. Således tager den ikke højde for udledningen fra raffinaderier, olie- og gasindustrien, landbruget, bygningsindustrien og søfart. Disse sektorer tegner sig ifølge DTI (2005), p. 4 for 15% af udledningen af drivhusgasser i England.

Yderligere dokumentation af modellen kan findes på denne hjemmeside
<http://www.etsap.org/Tools/MARKAL.htm>

4 Teknologiprognoser

Formålet med dette afsnit er at undersøge, hvilke anerkendte kilder, der eksisterer til belysning af den teknologiske udvikling på langt sigt, herunder hvad IEA har lavet om teknologifremskrivninger.

Vi har fundet følgende kilder:

- IEA, Det Internationale Energiagentur
- EU (jf. reference af Per Dannemand, Risø)
- Energistyrelsens teknologikatalog.

IEA

I IEA 2003: Energy technology: Facing the climate challenge

<http://www.iea.org/textbase/papers/2003/challenge.pdf>

giver i en kort form et overblik over nogle teknologier, som vil kunne medvirke til at reducere den fremtidige udledning af drivhusgasser. Det drejer sig fx om følgende teknologier: brint, fission og fusion.

IEA er kendt for at udgive publikationen World Energy Outlook med regelmæssige mellemrum. I World Energy Outlook 2004 er der lavet prognoser for det globale energiforbrug frem til år 2030, se

http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1266

IEA 2003: Energy to 2050: Scenarios for a sustainable future.

http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/2050_2003.pdf.

I modsætning til business-as-usual-scenarierne i IEA's WEO, så indeholder rapporten en beskrivelse af eksplorative og normative teknologiske scenarier, p. 3. Eksplorative scenarier analyserer sandsynlige og alternative fremtidige udviklingsmuligheder under hensyntagen til, at der er usikkerhed forbundet med at lave fremskrivninger. Normative scenarier fastlægger nogle fremtidige mål og analyserer mulighederne for at nå disse mål (fx CO₂-mål) ved hjælp af forskellige politiktiltag. Her er rapportens abstract (engelsk):

Analysing the interaction between energy and climate change mitigation issues requires the adoption of a long-term perspective – looking up to fifty years ahead. The future is, by definition unknown and cannot be predicted, particularly over longer periods. However, strategic planning and political decisions demand that we explore options for the future – and these are best developed through scenarios (conjectures as to what might happen in the future based on our past and present experience of the world and on plausible speculation about how these trends may further evolve). This volume introduces different types of scenarios, evaluating how they can be used to analyse specific aspects of the interaction between energy and environment over the longer term. It examines »exploratory scenarios« (based on different expectations of technical and/or policy developments over the next 50 years) and »normative scenarios« (based on a set of desirable features or »norms« that the future world should possess). These long-term scenarios complement the IEA's World Energy Outlook, which presents a mid-term business-as-usual scenario with some variants. The analysis in this volume seeks to stimulate new thinking in this critical domain.

It contributes to our collective thinking about how to solve the challenges of climate change in the context of a more secure and sustainable energy future.

Energistyrelsens teknologikatalog, Danish Energy Authority et al. (2004)

Kataloget blev opdateret i 2004 og indeholder derfor relativt nye teknologidata, dog kun for el- og varmeproduktion (dvs. industrielle processer og transport er ikke inkluderet). Data er opgivet for følgende tidsperioder 2004, 2010-15 og 2020-30, og dermed ikke for 2050, som der fokuseres på i projektbeskrivelsen. For hver teknologi er lavet et »data sheet«, der indeholder både tekniske, miljømæssige og økonomiske data. Særlig relevans for CO₂-reduktionsomkostningerne har forventet udvikling i virkningsgraden (effektivitet) og i de økonomiske omkostninger (investering, drift og vedligehold).

For hver teknologi er lavet en livscyklus-vurdering af drivhusgasudledningen ved at producere en enhed elektricitet (opgjort i kg CO₂-ækvivalent pr. MWh el).

En svaghed ved teknologikataloget er, at det ikke indeholder en vurdering af teknologiernes markedsmæssige potentiale, dvs. hvilke teknologier vil findes i år 2050, og hvor store markedsandele vil de have under alternative antagelser om fx energipriser, CO₂-kvotepriser mv.

Per Dannemand, Risø

Per Dannemand, Risø, som er medlem af EU's Energy Technology Foresight Network tror ikke på, at der kan laves prædiktive (og seriøse) teknologiprognoser med sigte på år 2050, det vil sige på 45-års-sigt. Der laves en del overvejelser inden for energiteknologier, men de er normative eller eksplorative. Efter Per Dannemands opfattelse bygger selv IEA's Business-as-Usual-scenarier på nogle forudsætninger, der er urealistiske – eksempelvis at der ikke kommer politiske indgreb på energiområdet de næste årtier.

Per Dannemand peger på EU's »World energy, technology and climate policy outlook« (WETO) fra 2003 (EUR20366) som en relevant datakilde. Den har en række tal frem til 2030.

Litteratur

AEA Technology Environment og Stockholm Environment Institute, Oxford med støtte fra EU Kommissionen DG Environment. Her er linket: http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/final_report2.pdf

Barker, T. og P. Ekins (2004): The cost of Kyoto for the US economy. *The Energy Journal* 25(3): 53-71.

Bates, J.M.A.; A. Gardiner, J. Cofala, J. van Minnen, H. Eerens, N. Kouvaritakis, L. Mantzos og M. Zeka-Paschou (2004): SoEOR2005: *Greenhouse gas emission projections and costs 1990-2030*. EEA-ETC/ACC. 2004/1.

Bollen, J.C.; A.M.C. Toet og H.J.M. de Vries (1996): Evaluating cost-effective strategies for meeting regional CO₂ targets. *Global Environmental Change* 6(4): 359-373.

Capros et al. (1997): *The GEM-E3 model: Reference Manual*. NTUA, E3M-Lab, Athens.

Commission of the European Communities (2005): Winning the battle against global climate change. *Commission Staff Working Paper*, 1-51, 2005, Brussels, Commission of the European Communities.

Council of the European Union (2005): Note on Climate change. 12991/05, 11 October 2005.

Criqui, A.K.; M. Berk, M. den Elzen, B. Eickhout, P. Lucas, D. van Vuuren, N. Kouvaritakis, B. Vanregemorter, B. de Vries, H. Eerens, R. Oostenrijk og L. Paroussos (2003): Greenhouse gases reduction pathways in the UNFCCC process up to 2025.

Danish Energy Authority, Elkraft System og Eltra (2004): *Technology data for electricity and heat generating plants*.

Downing og Watkiss (2003): *The Marginal Social Costs of Carbon in Policy Making: Application, Uncertainty and a Possible Risk Based Approach*. Paper presented the DEFRA International Seminar on the Social Costs of Carbon. July 2003 (www reference er givet i Commission of the European Communities 2005, p. 20).

DTI (Department of Trade and Industry) (2003): Our energy future – creating a low carbon economy.

DTI 2003: Options for a low carbon future. Economics Paper no 4. Department of Trade and Industry, London.

DTI (Department of Trade and Industry) (2003a): Options for a Low Carbon Future – Phase 2. DTI.

- EEA (2005): Climate change and a European low-carbon energy system. European Environment Agency. 1.
- EEA (2005): Technical paper on scenario test run results for climate change and air pollution SoEOR2005. Forthcoming.
- EU 2003: Greenhouse gas Reduction Pathways in the UNFCCC Process up to 2025. Link til teknisk baggrundsrapport: http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/pm_techreport2025.pdf. Link til Executive Summary for policymakers: <http://europa.eu.int/comm/environment/climat/studies.htm>
- EU's »World energy, technology and climate policy outlook« (WETO) fra 2003 (EUR20366).
- Finansministeriet (2003): *En omkostningseffektiv klimastrategi*. Finansministeriet. København.
- GEUS (2004): Geologisk lagring af CO₂ – et bidrag til fremtidens klimapolitik. GEUS. 2 December 2004.
- Gouldner L. 2004: Induced Technological Change and Climate Policy, *Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginia*.
- IEA 2003: Energy technology: Facing the climate challenge. <http://www.iea.org/textbase/papers/2003/challenge.pdf>
- IEA World Energy Outlook. http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1266
- IEA 2003: Energy to 2050: Scenarios for a sustainable future. http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/2050_2003.pdf
- IMAGE (2001): The image 2.2 implementation of the SRES scenarios. A comprehensive analysis of emissions, climate change and impacts in the 21st century. Dutch National Institute for Public Health and the Environment. CD rom publication 481508018.
- IPCC 2001: Third Assessment Report. Består af 4 publikationer, som kan downloades kapitel for kapitel på stien: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/
To rapporter ser relevante ud: Climate Change 2001: The Scientific Basis og Mitigation, se http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg3/index.htm
- IPTS 2005: Analysis of Post-2012 Climate Policy Scenarios with Limited Participation. Technical Report Series. Euro 21758 EN.
- Kinzig, A.P. og D.M. Kammen (1998): National trajectories of carbon emissions: analysis of proposals to foster the transition to low-carbon economies. *Global Environmental Change* 8(3): 183-208.
- Leach, M.; D. Anderson, P. Taylor og G. March (2005): Options for a Low Carbon Future: Review of Modelling Activities and an Update. Department of Trade and Industry (DTI), UK. 1.

- Manne, A. og R. Richels 2004: ***The role of non-CO₂ greenhouse gas and carbon sinks in meeting climate objectives***, July 2004, Stanford University/EPRI, Stanford. www.stanford.edu/group/MERGE/EMF21.pdf
- Mantzos, L.; P. Capros, N. Kouvaritakis og M. Zeka-Paschou (2003): ***European energy and transport: trends to 2030***. Luxembourg. European Commission. Directorate General for Energy and Transport, Office for Official Publications of the European Communities.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human well-being: Synthesis.
- Nakicenovic, N. og K. Riahi (2003): ***Model runs with MESSAGE in the context of the further development of the Kyoto Protocol***, report submitted to the Secretariat of the German Advisory Council on Global Change.
- Pacala, S. og R. Socolow (2004): Stabilization wedges: Solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. *Science* 305(5686): 968-972.
- Research Reports International (2005): Greenhouse Gas (GHG) Emissions Credit Trading Report. ***Research Reports International***. 3 Edi.
- Rådet for den Europæiske Union (2005): Orienterende Note om Klimaændringer. 11. marts 2005. 7242/05
- Tol, R.S.J. (1999): Safe policies in an uncertain climate: an application of FUND. ***Global Environmental Change*** 9(3): 221-232.
- van Vuuren, D.; M. den Elzen, M. G. J. Berk, M. M. Lucas, B. Eickhout, H. Eerens og R. Oostenrijk (2003): ***Regional costs and benefits of alternative post Kyoto climate regimes***. National Institute of Public Health and the Environment. 728001025/2003.
- Weyant, J.P. (2004): Introduction and overview. ***Energy Economics*** 26(4): 501-515.