



CHRISTOPH BÖHRINGER
Professor, Universitetet i Oldenburg

KNUT EINAR ROSENDAHL
Seniorforsker, Forskningsavdelingen, Statistisk sentralbyrå

Satsing på fornybar kraft = satsing på kullkraft*

I Norge og resten av Europa er det politisk ønske om å redusere CO₂-utslippene og øke produksjonen av fornybar energi. I denne artikkelen diskuterer vi hvordan økt satsing på fornybar kraft vil påvirke kraftmarkedet, gitt at det allerede er satt et tak på utslippene av CO₂. Vi finner at satsingen på fornybar kraft vil gi økt produksjon av kullkraft, mens gasskraftproduksjonen vil falle.

1 INNLEDNING

Et av de store spørsmålene i energipolitikken her i landet er hvor mye man skal støtte fornybar energiproduksjon som for eksempel vindkraft, og hvilken innretning støtten eventuelt skal ha. Dette spørsmålet står også høyt på dagsordenen i EU og USA. Argumentene som brukes for å fremme slik støtte er flerfoldige, men det aller viktigste virker å være klimaproblemet. I EU og USA er også forsyningsikkerhet et viktig argument, men det argumentet er mindre relevant i Norge.

Støtte til fornybar energi kan føre til reduserte CO₂-utslipp dersom støtten stimulerer til økt produksjon av fornybar energi, som igjen fortrenger fossil energiproduksjon. Det er iallfall to innvendinger som kan rettes mot denne logikken. For det første er det en indirekte måte å redusere CO₂-utslipp på – en mer effektiv måte er selvsagt å øke

prisen på CO₂-utslipp gjennom avgifter eller kvoter. For det andre har vi allerede et kvotemarked som dekker blant annet kraftproduksjon i EU og Norge, med rammer lagt fram til 2020. Dermed er utslippene fra sektorene i kvotemarkedet i stor grad gitt,¹ og støtte til fornybar kraft vil derfor ikke påvirke disse utslippene.

Støtte til fornybar kraft kan likevel være fornuftig dersom det reduserer de samfunnsøkonomiske kostnadene ved å nå utslippsmålene som er satt, eller dersom det påvirker utslippsmålene som settes etter 2020. Det er viktig at omfanget og innretningen av støtten sees i et slikt lys.

Denne artikkelen fokuserer på en annen effekt av å støtte fornybar energi, nemlig effekten på markedsandeler for ikke-fornybar energiproduksjon. Ved hjelp av en enkel teoretisk modell for kraftmarkedet viser vi at økt støtte til

* Vi er takknemlig for finansiering fra NFR-programmet Petrosam, og for nyttige kommentarer fra en anonym referee.

¹ Ettersom bedriftene i EUs kvotemarked også kan kjøpe såkalte CDM-kvoter fra utviklingsland, vil satsing på fornybar kraft kunne påvirke omfanget av utslippsreduksjoner i Europa, mens globale utslippsreduksjoner ikke påvirkes (gitt at CDM-mekanismen virker etter hensikten, jf. Rosendahl og Strand, 2009).

fornybar kraft vil være gunstig for de mest utslippsintensive kraftteknologiene (typisk kullkraft), gitt at et kvotemarked for CO₂-utslipp allerede er på plass. Årsaken er at økt produksjon av fornybar kraft vil lette presset i kvotemarkedet og føre til lavere pris på CO₂, noe som er mest gunstig for produsentene med høyest CO₂-utslipp. Simuleringer på en numerisk modell for det tyske kraftmarkedet bekrefter at økt andel fornybar kraft øker produksjonen av kraft fra brunkull, mens gasskraftproduksjon rammes hardest.

2 TEORETISK ANALYSE: STØTTE TIL FORNYBAR ER OGSÅ STØTTE TIL DE MEST FORURENSENDE

Vi studerer et lukket kraftmarked som består av såkalte «grønne» (G) og «brune» (B) kraftverk der ingen produsenter har markedsrett. La kostnadene ved å produsere kraft være gitt ved funksjonene $c^i(q^i)$, der q^i angir produksjonen i kraftverk i . Vi antar at både kostnadene og marginalkostnadene er strengt voksende i produksjonen. CO₂-utslippene fra brune kraftverk (e^i) antas å være proporsjonale med produksjonen, dvs. $e^i = \gamma^i \cdot q^i$ der γ^i betegner utslippsintensiteten for kraftverk i . Denne antakelsen bygger på at det er en tilnærmet proporsjonal sammenheng mellom input av CO₂-holdig (fossil) energi og produksjon av elektrisitet for det enkelte kraftverk.² Noen brune kraftverk har CO₂-utslipp (for eksempel kullkraft og gasskraft), mens andre har ikke (for eksempel kjernekraft). Grønne kraftverk har ingen CO₂-utslipp, og representerer fornybar kraft. Den samlede etterspørselen etter kraft (D) er en avtakende funksjon av konsumentprisen p^E , og markedet antas å være i likevekt slik at total produksjon er lik total etterspørsel:

$$1) \quad \sum_{i \in B} q^i + \sum_{i \in G} q^i = D(p^E) \quad (D' < 0).$$

Vi antar at myndighetene har innført et kvotemarked for kraftmarkedet, og at den totale kvotemengden \hat{E} er bindende. Det betyr at summen av utslipp er konstant:

$$2) \quad \sum_{i \in B} (\gamma^i q^i) = \hat{E}.$$

² Kombinasjonen av strengt voksende marginalkostnader og proporsjonalitet mellom utslipp og produksjon forutsetter strengt tatt at produktfunksjonen er en såkalt Leontief-funksjon, der produksjonen er proporsjonal med bruk av (fossil) energi, mens det er strengt avtakende utbytte med hensyn på minst en annen innsatsfaktor.

³ Et grønt sertifikatmarked innebærer at produsenter av grønn kraft kan utstede et sertifikat for hver enhet kraft de produserer, mens andre produsenter (eller konsumenter) må kjøpe en bestemt andel (grønne) sertifikater for hver enhet kraft produsert (konsumert). Andelen fastsettes av myndighetene, som på denne måten kan styre andelen grønn kraft i markedet. Ekvivalensen mellom grønne sertifikater og kombinasjonen avgifter/subsidier er vist i Böhringer og Rosendahl (2009). Resultatet forutsetter at det er frikonkurranse i markedet, og at $\pi^i = \pi$ er lik for alle grønne kraftverk.

I praksis vil kvotemarkedet typisk inkludere flere sektorer (jf. EUs kvotemarked), men ettersom de fleste utslippsreduksjonene normalt finner sted i kraftmarkedet, er sannsynligheten stor for at resultatene våre er overførbare til dagens situasjon. Prisen på kvoter er gitt ved σ . Vi antar så at myndighetene ønsker å øke andelen grønn kraft gjennom (økt) subsidiering av slik kraft, gitt ved π^i (subsidiene kan enten være uniform eller differensiert mellom teknologier/produsenter). Subsidiene kan eventuelt betales for gjennom (økt) avgift t på forbruket av kraft. I så fall fungerer subsidiene på samme måte som et grønt sertifikatmarked.³

Førsteordensbetingelsene for grønne og brune kraftverk kan da uttrykkes på følgende måte, basert på standard profittmaksimering:

$$3) \quad c^i_{q^i}(q^i) = p^E - t - \sigma \gamma^i \quad (i \in B)$$

$$4) \quad c^i_{q^i}(q^i) = p^E - t + \pi^i \quad (i \in G).$$

Alle produsentene mottar $(p^E - t)$ for hver enhet kraft. Brune kraftverk må betale for sine eventuelle utslipp, mens grønne kraftverk mottar subsidier proporsjonalt med sin produksjon. La b og g angi antall brune og grønne kraftverk. Ligningssystemet (1) – (4) består av $(b+g+2)$ ligninger og like mange endogene variable (q^i , p^E , σ). Ved blant annet å totaldifferensiere ligning (3) kan vi etter litt omregninger vise at følgende gjelder (se Böhringer og Rosendahl, 2009):

- Kraftverk med høyest utslippsintensitet vil øke sin produksjon.
- Brune kraftverk uten utslipp vil redusere sin produksjon, og det samme vil kraftverk med lavest (strengt positive) utslipp.
- Total produksjon fra brune kraftverk vil reduseres.

Merk at resultatet *ikke* gjelder dersom alle de brune kraftverkene har samme utslippskoeffisient. Da forblir produksjonen uendret i alle de brune kraftverkene.

Intuisjonen bak det første og mest interessante resultatet er som nevnt innledningsvis at kvotemarkedet sørger for å holde summen av utslipp konstant. Økt støtte til grønne kraftverk vil i første omgang redusere kraftprisen og dermed lønnsomheten for alle brune kraftverk. Dette fører til at prisen på utslippskvoter faller slik at totalutslippene forblir uendret (se også Amundsen og Mortensen, 2001). Redusert kvotepris er mest gunstig for kraftverkene med høyest utslippintensitet. Resultatet blir dermed at disse kraftverkene øker sin produksjon, mens de minst utslippintensive brune kraftverkene kommer dårligere ut som følge av lavere kraftpris. Dersom vi for eksempel har tre typer brune kraftverk, kullkraft, gasskraft og kjernekraft, vil kullkraft tjene på støtte til fornybar kraft, mens gasskraft og kjernekraft vil tape.

Resultatene over er gyldige for alle typer politikk som øker lønnsomheten av fornybar kraft, inkludert forskningsubsidier som reduserer kostnadene ved å produsere slik kraft. På den annen side: Uten kvotemarkedet ville alle brune kraftverk komme dårligere ut ved støtte til fornybar kraft.

Effekten på kraftprisen og samlet kraftproduksjon vil avhenge av valg av virkemiddel. Subsidiert av fornybar kraft uten økning i forbruksavgiften vil naturlig nok stimulere samlet kraftproduksjon. Innføring av et grønt sertifikatmarked kan slå begge veier, og avhenger av kostnadsfunksjonene og variasjonen i utslippintensitet blant de brune kraftverkene. Jo mindre variasjon det er i utslippintensiteten til de brune kraftverkene, jo mindre vil samlet brun kraftproduksjon falle, og jo større er sjansen for at samlet kraftproduksjon øker.

3 NUMERISK ANALYSE: STØTTE TIL FORNYBAR GÅR PÅ BEKOSTNING AV GASSKRAFT

For å undersøke betydningen av det teoretiske resultatet, har vi utført simuleringer på en statisk partiell likevektsmodell for det tyske kraftmarkedet. Kullkraft står for omtrent halvparten av den tyske kraftproduksjonen. En betydelig del av denne kullkraften er basert på brunkull, som fører til ekstra høye CO₂-utslipp pr. kWh. I tillegg har Tyskland en stor andel kjernekraft, en ikke ubetydelig andel gasskraft, og noe vannkraft og annen fornybar kraft. Mens kullkraften i stor grad er basert på kull utvunnet i Tyskland, importeres mesteparten av gassen fra Russland, Norge og Nederland.

⁴ Se http://ec.europa.eu/environment/climat/climate_action.htm.

I modellen er det ti ulike kraftteknologier, og det skilles mellom eksisterende og nye kraftverk. Førstnevnte må kun ha dekning for driftsutgifter for å produsere, mens sistnevnte også må ha dekning for investeringskostnader. Modellen skiller videre mellom tre ulike lastperioder, topplast, mellomlast og grunnlast. Den er kalibrert til år 2004, dvs. året før EUs kvotemarked startet opp. Utfallet i basisåret brukes også som referansescenario, men vi inkluderer framtidig anslått potensiale for fornybar kraft i modellen med tanke på de politiske målene som er satt for 2020. Detaljert informasjon om blant annet eksisterende og potensiell kapasitet og kostnader for ulike teknologier er lagt til grunn. Se for øvrig Böhringer og Rosendahl (2009) for nærmere informasjon.

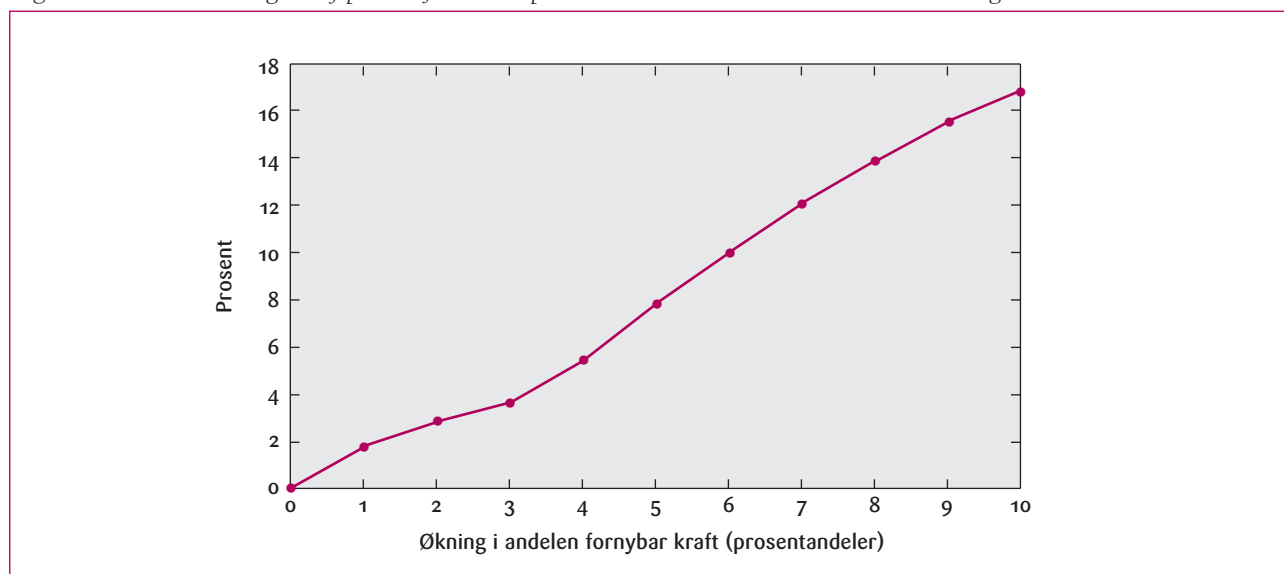
EU har nylig forpliktet seg til å redusere sine klimagassutslipp til 20 prosent under 1990-nivået i 2020.⁴ Samme år skal andelen fornybar energi i EU utgjøre minst 20 prosent. Tysklands ambisjoner på egne vegne er enda større: Allerede i Kyoto-perioden skal utslippene være 21 prosent under 1990-nivået, og ytterligere reduksjoner er ventet fram mot 2020. En betydelig del av utslippsreduksjonene vil trolig finne sted i kraftsektoren.

På denne bakgrunn legger vi først til grunn at det innføres et kvotemarked for det tyske kraftmarkedet som reduserer CO₂-utslippene derfra med 25 prosent. Dette scenariet kaller vi KLIMA. Andelen fornybar kraft i dette scenariet er 13 prosent, mot 11 prosent i referansescenariet. Deretter antar vi at det innføres et marked for grønne sertifikater, med gitte andeler for fornybar kraftproduksjon. Vi øker andelen fornybar kraft med ett prosentpoeng om gangen opp til 23 prosent, dvs. ti prosentpoeng høyere enn i scenariet KLIMA. Disse scenariene kaller vi KLIMA&FORNYBAR.

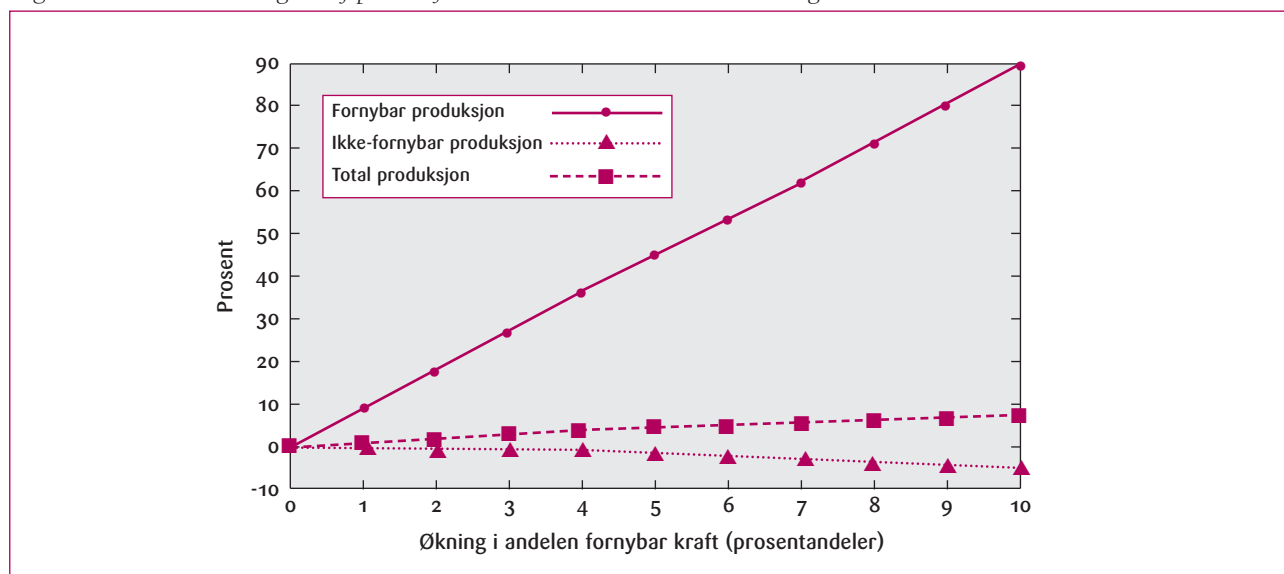
Brunkull er den mest utslippintensive kraftteknologien i Tyskland. Når kvotemarkedet innføres i scenariet KLIMA, faller kraftproduksjonen basert på brunkull med 41 prosent. Når så andelen fornybar kraft økes via det grønne sertifikatmarkedet, stiger denne kraftproduksjonen igjen i tråd med det teoretiske resultatet (se figur 1). Økningen er på 17 prosent når andelen fornybar kraft er økt med ti prosentpoeng.

Gasskraft er den store taperen som følge av at andelen fornybar kraft økes. Mens kvotemarkedet fører til en økning

Figur 1 Prosentvis økning i kraftproduksjon basert på brunkull i KLIMA&FORNYBAR sammenlignet med KLIMA.



Figur 2 Prosentvis endring i kraftproduksjon i KLIMA&FORNYBAR sammenlignet med KLIMA.

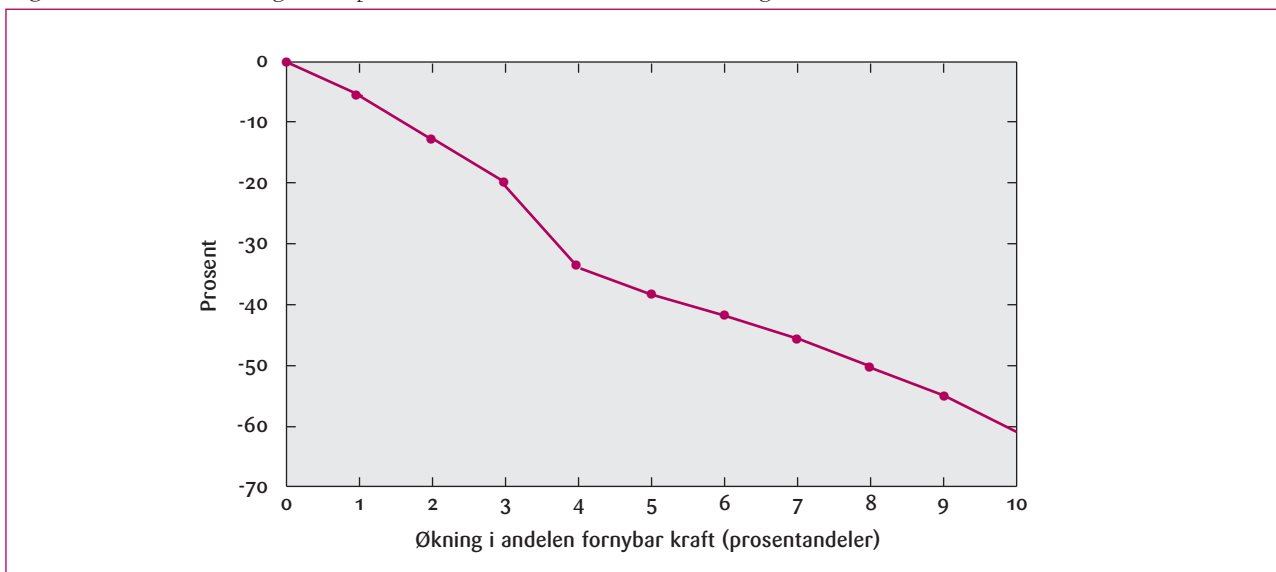


i gasskraftproduksjonen, fører det grønne sertifikatmarkedet til at denne produksjonen nesten halveres når andelen fornybar kraft er økt med ti prosentpoeng. Nedgangen i gasskraftproduksjonen er i tråd med de teoretiske resultatene, og det kraftige fallet henger også sammen med at gasskraft har høye driftskostnader (spesielt kjøp av gass). Produksjon av kjernekraft, som ifølge den teoretiske analysen skulle avta, påvirkes derimot lite på grunn av relativt lave driftskostnader.

Det grønne sertifikatmarkedet fører til at samlet ikke-fornybar kraftproduksjon faller med inntil fem prosent, mens total kraftproduksjon øker med inntil åtte prosent (se figur 2). Det vil si at konsumentprisen på kraft faller som følge av økt andel fornybar kraft, implementert via det grønne sertifikatmarkedet. Som nevnt i kapittel 2 er dette ikke selvsagt. Sannsynligheten for et prisfall er likevel større når det allerede eksisterer et kvotemarked, fordi nedgangen i kvoteprisen demper fallet i samlet ikke-fornybar kraftproduksjon.⁵

⁵ Fischer (2006) analyserer blant annet effekten på kraftprisen av å innføre grønne sertifikater uten at det samtidig eksisterer et kvotemarked.

Figur 3 Prosentvis endring i kvoteprisen i KLIMA&FORNYBAR sammenlignet med KLIMA.



Kvotepriisen faller for øvrig med inntil 60 prosent når det grønne sertifikatmarkedet innføres (se figur 3).

De samfunnsøkonomiske kostnadene ved å redusere CO₂-utslippene i det tyske kraftmarkedet gjennom et kvotemarked beregnes i modellen til ca. 1,1 milliarder Euro pr. år.⁶ Når det grønne sertifikatmarkedet innføres og andelen fornybar kraft økes fra 13 til 23 prosent, fordobles de samfunnsøkonomiske kostnadene. CO₂-utslippene forblir selvfølgelig uendret. Kostnadsøkningen må derfor settes opp mot eventuelle andre gevinster av det grønne sertifikatmarkedet. Det kan for eksempel være langsiktige kostnadsgevinster gjennom økt erfaring med produksjon av fornybar kraft. Dette kan gjøre det billigere å redusere CO₂-utslipp i framtida. I europeisk sammenheng er økt innenlandsk produksjon av energi et viktig moment, for å redusere avhengigheten av russisk gass og olje fra Midtøsten. Noen vil også hevde at det kan skape flere arbeidsplasser i distrikter med mangel på slikt.

Selv om det kan være hold i flere av disse argumentene, er det grunn til å tro at andre virkemidler vil være mer treffsikre. Et grønt sertifikatmarked vil for eksempel være gunstigst for de grønne teknologiene som har lavest kostnader i dag, og det er ikke nødvendigvis disse teknologiene som har størst potensiale for kostnadsreduksjoner. Støtte til

forskning og utvikling (FoU) og demonstrasjonsanlegg kan dessuten være mer hensiktsmessig enn en generell støtteordning basert på produksjon. Når det gjelder satsing på FoU, er det stor enighet om at gevinsten for samfunnet er større enn den gevinsten som de private aktørene oppnår. Som vist i Kverndokk og Rosendahl (2009), kan det argumenteres for at generell FoU-støtte ikke er optimalt, dvs. at det er behov for støtteordninger målrettet mot utvikling av CO₂-frie energiteknologier.

4 OPPSUMMERING

I denne artikkelen har vi vist at økt satsing på fornybar kraft også vil være gunstig for de mest utslippsintensive kraftteknologiene, gitt at det allerede eksisterer et kvotemarked for CO₂-utslipp. De ikke-fornybare teknologiene med lavest eller ingen CO₂-utslipp vil derimot tape på en slik satsing. Er dette et problem? De samlede CO₂-utslippene forblir jo uendret.

En negativ bieffekt er at det i stor grad er en positiv sammenheng mellom CO₂-intensiteten og intensiteten av andre utslipp som SO₂, NO_x og partikler. Gasskraft har for eksempel betydelig lavere utslipp av disse komponentene enn kullkraft. Økt satsing på fornybar kraft kan dermed paradoksalt nok føre til økt lokal og regional luftforurensning.

⁶ De samfunnsøkonomiske kostnadene er i modellen beregnet som nedgangen i summen av konsumentoverskudd, produsentoverskudd og offentlige inntekter.

På den annen side vil økt produksjon av kullkraft på bekostning av gasskraft i Europa redusere behovet for import av gass fra Russland og stimulere den innenlandske produksjonen av kull. Økt satsing på fornybar kraft kan dermed redusere importavhengigheten både direkte via økt fornybar kraft og indirekte via økt kullkraft. Men tro om politikerne i EU har hatt dette i tankene når de har vedtatt sine ambisiøse mål for 2020?

REFERANSER:

Amundsen, E.S. og J.B. Mortensen (2001): The Danish Green Certificate Market: Some Simple Analytical Results, *Energy Economics* 23, 489-509.

Böhringer, C. og K.E. Rosendahl (2009): Green Serves the Dirtiest. On the Interaction between Black and Green Quotas, Discussion Papers 581, Statistisk sentralbyrå.

Fischer, C. (2006): How Can Renewable Portfolio Standards Lower Electricity Prices? RFF Discussion Paper 06-20-REV, Washington, DC: Resources for the Future.

Kverndokk, S. og K.E. Rosendahl (2009): Sammenhenger mellom klima- og FoU-politikk, *Samfunnsøkonomen* (dette nummer).

Rosendahl, K.E. og J. Strand (2009): Simple Model Frameworks for Explaining Inefficiency of the Clean Development Mechanism, Policy Research Working Paper 4931, The World Bank.