

# Virkemidler for klimavennlig teknologiutvikling

Samfunnsøkonomisk forskning i Forsk-  
ningsrådets RENERGI-program

Haakon Vennemo

VISTA ANALYSE AS





## **Dokumentdetaljer**

---

Vista Analyse AS	Rapportnummer 2012/21
Rapporttittel	Virkemidler for klimavennlig teknologiutvikling – Samfunnsøkonomisk forskning i Forskningsrådets RENERGI-program
ISBN	978-82-8126-070-2
Forfatter	Haakon Vennemo
Dato for ferdigstilling	25. mai 2012
Prosjektleder	Haakon Vennemo
Kvalitetssikrer	Annegrete Bruvoll
Oppdragsgiver	Norges forskningsråd
Tilgjengelighet	pdf
Publisert	<a href="http://www.vista-analyse.no">www.vista-analyse.no</a>
Nøkkelord	Endogen teknologi, RENERGI

---

## **Forord**

Dette er en såkalt synteserapport skrevet på oppdrag av Forskningsrådets Renegiprogram. Formålet med synteserapportene er å sammenstille forskning initiert av Renergi for slik å gi et samlet bilde av denne forskningens bidrag til kunnskapsutviklingen på et område. En stor takk rettes til Brita Bye, Rolf Golombek, Knut Einar Rosendahl og Grete Håkonsen Coldevin som har lest gjennom rapporten og kommet med gode råd. Annegrete Bruvoll har kvalitetssikret rapporten på vegne av Vista Analyse.

25 mai 2012

Haakon Vennemo

Prosjektleder

Vista Analyse AS

## ***Innholdsfortegnelse***

Sammendrag .....	4
1. Innledning.....	7
2. Bakom lærekurven .....	9
3. Klimavirkemidler og Produktivitet.....	10
4. FoU-virkemidler og klima.....	12
5. Klimaavtaler.....	15
6. Konklusjon.....	17
Referanser .....	18
Vedlegg 1 - Samfunnsøkonomiske prosjekter i Renergi om økonomiske virkemidler og teknologi .....	19
Vedlegg 2 - Artikler om økonomiske virkemidler og teknologi støttet av Renergi .....	20
Vedlegg 3 - Fullstendig liste over siteringer .....	23

### **Tabeller:**

Tabell 1.1 De mest siterte artiklene på feltet i Renergi.....	8
---------------------------------------------------------------	---

### **Figurer:**

Figur 1 Tidslinje for forskning om endogen teknologiutvikling.....	4
--------------------------------------------------------------------	---

### **Bokser:**

Boks 1 Virkemidler for FOU i leverandørindustri og eksportrettet industri.....	6
Boks 2 En NOU preget av Renergi .....	7

## **Sammendrag**

Ved inngangen til dette årtusenet var forskning om økonomiske virkemidlers styrker og svakheter for ressursallokeringen kommet langt. Kvoter, avgifter, grønne sertifikater, avtaler og andre virkemidler sine virkninger innenfor rammen av det vi forenklet kan kalle den nyklassiske modellen var godt studert. Selvsagt stod det igjen hvite flekker her og der, men i hovedsak var kartet som beskriver virkemidler i den nyklassiske modellen, ferdig fargelagt.

Men det ligger i forskningens natur at når kartet er ferdig, er det på sett og vis dødt. Man legger det til side for å begynne på et som er nytt og bedre. I den nyklassiske modellen har konsumentene konstante preferanser over goder, og produsentene har konstante produksjonsmuligheter over innsatsfaktorer. Det siste tiåret har forskerne har satt kryss over disse forutsetningene. Preferansene er ikke lenger konstante over goder, og produksjonsmulighetene er ikke lenger konstante over innsatsfaktorer. Dermed har det åpnet seg nye landskap og nye kart med store hvite flater som kan fargelegges. Den samfunnsøkonomiske forskningen i Renergi bidrar til å fylle disse kartene.

Den historien vi ønsker å fortelle her, gjelder forskning i Renergi om økonomiske virkemidlers betydning for produksjonsmulighetene i forhold til innsatsfaktorene, eller det vi vanligvis kaller endogen teknologi. Forskningen i Renergi om endogen teknologi har forløpere tilbake til tre artikler på 1980-tallet (figur 1). Disse artiklene, hvorav to var skrevet av en forsker med fersk PhD (Romer, 1986, 1990) og én var skrevet av en Nobelprisvinner (Lucas, 1988), presenterte enkle og elegante modeller for endogen teknologi og endogen økonomisk vekst drevet av forskning og utvikling. Like viktig, artiklene slo fast at forskning og utvikling gir opphav til positive eksterne virkninger – virkninger som kommer samfunnet til gode, men som den som betaler for forskningen ikke får glede av. Det betyr at offentlige virkemidler må brukes for å sikre at forskning og utvikling får det omfanget som trengs for å skape tilstrekkelig (økonomer sier 'optimal') økonomisk utvikling og vekst.

**Figur 1 Tidslinje for forskning om endogen teknologiutvikling**



Artiklene til Romer og Lucas slo inn i økonomifaget med et brak. Med ett hadde man modeller til å sette ord på noe alle egentlig visste, nemlig at teknologisk utvikling påvirkes av offentlige virkemidler. Mange følte det frigjørende og inspirerende. Utover 1990-tallet kom en flom av arbeider som bygget ut de første modellene i ulike retninger. Blant annet ble det forsket på samspillet mellom generelle teknologier med mange anvendelser på den ene side, og anvendte teknologier for spesifikke forhold på den

annen side (Bresnahan og Trajtenberg, 1995). De anvendte teknologiene bygger ofte på de generelle, slik at man har en verdikjede innad i teknologiutviklingen og innovasjonsprosessen. Dette er det nyttig å ha med seg når virkemidler utformes. Det kom dessuten empiriske arbeider som prøvde å tallfeste hvor stor avkastning forskning og utvikling gir for den enkelte og for samfunnet. De viste til dels kjempemessige eksterne virkninger og kjempemessig samfunnsøkonomisk avkastning (Griliches, 1992). Slike resultater gjorde forskning på samspillet mellom virkemidler og teknologiutvikling til et enda viktigere felt. Etter årtusenskiftet har forskningen bredt seg ut fra sin aggregerte og makroorienterte kjerne til ulike spesialfelter, blant annet til energi- og miljøøkonomien. Og dermed er vi kommet fram til Renergi.

Kjerneinnsikten i forskningen innen Renergi og det internasjonale miljøet den er en del av, er at vi på miljø- og energifeltet har å gjøre med to eksterne virkninger: For det første er det slik at frembringelsen av et produkt forringer miljøet. Dette gir opphav til den tradisjonelle, negative eksterne virkningen på feltet. Den som frembringer produktet, legger jo bare vekt på inntekten, ikke minusposten for miljøet. I Renergi er man særlig opptatt av miljø i form av klima. For det andre er det slik at dersom man forsker og utvikler en ny miljøteknologi, er det flere enn den som frembringer eller kjøper teknologien som har nytte av det. Metodikken og grunnlagsarbeidet kan være viktig for andre forskere og utviklere. Det gir opphav til den nye, eller i hvert fall nymodellerte eksterne virkningen på feltet knyttet til miljø- og energiforskning.

Med to eksterne virkninger er det ønskelig med to virkemidler: En avgift, kvote eller annen regulering for å redusere de klimaforurensende bedriftenes marginalnytte *ned* til samfunnets nivå; og et tilskudd for å øke de forskningsproduserende institusjonenes marginalnytte *opp* til samfunnets nivå. Men hva hvis man bare har ett av disse virkemidlene fritt tilgjengelig? Veldig mye av forskningen i Renergi på området drøfter hvordan ett virkemiddel kan brukes til å oppnå målsettinger om klima på den ene side, og målsettinger om forskning og utvikling på den annen side.

For eksempel er det i offentlig debatt ikke uvanlig å høre det synspunkt at Norge og andre rike land bør regulere CO<sub>2</sub> strengere enn ellers, fordi streng regulering av CO<sub>2</sub> utløser innovasjoner og teknologiutvikling alle land etterhvert kan nyte godt av. Premisset i dette argumentet er at klimapolitikken kan settes fritt, mens FoU-støtten er det den er. (Hvis ikke burde det vært FoU-støtten man brukte til å utløse flere innovasjoner.) Forskningen bekrefter at dersom bare klimavirkemidlet er tilgjengelig, bør CO<sub>2</sub>-reguleringen være strengere enn et klimamål alene tilsier. En streng regulering av CO<sub>2</sub> tilsier høy pris på CO<sub>2</sub>, og dette vil stimulere FoU i klimavennlige teknologier. Slik FoU er gunstig med tanke på de positive eksterne virkningene (Rosendahl, 2004; Gerlagh, Kverndokk og Rosendahl, 2009; Greaker og Pade, 2009; Golombek, Greaker og Hoel, 2010). En høy pris på CO<sub>2</sub> vil også stimulere konkurransen blant underleverandører, som kan gi lavere priser på deler og innsatsvarer (Boks 1).

For å stimulere teknologiutvikling bør en også se på FoU-virkemidlene. Forskningen spisser situasjonen ved å studere et tilfelle der det *bare* er FoU-virkemidlene som er fritt tilgjengelig. Situasjonen er nå med andre ord den motsatte av i forrige avsnitt. En konklusjon fra arbeidene er at FoU i klimavennlige teknologier bør stimuleres mer desto viktigere det er å redusere klimagassutslipp (Heggedal og Jacobsen, 2011; Bye og Jacobsen, 2011) og den bør stimuleres mer desto dårligere klimapolitikken makter å gjenspeile dette (Golombek og Hoel, 2011). Dessuten finner man at det er viktig å trappe

ned støtten til klimavennlige teknologier i takt med at teknologiene blir modne og de eksterne virkningene slipper taket (Kverndokk og Rosendahl, 2007; Kverndokk, Rosendahl og Rutherford, 2004). Hvis man ikke gjør det, kan man få innelåsingseffekter i halvgod teknologi. Videre finnes det argumenter for at FoU i klimavennlige teknologier under ellers like forhold *ikke* bør støttes mer enn generell FoU (Bye og Jacobsen, 2011). Argumentet er at FoU i klimavennlige teknologier kan gi smalere positive eksterne virkninger siden den i første rekke er relevant for innovatører i energimarkedene.

### **Boks 1      Virkemidler for FOU i leverandørindustri og eksportrettet industri**

Greaker og Sagen (2008) argumenterer for at dynamikken i leverandørindustrien ofte er den viktigste forklaringsfaktoren bak en teknologisk lærekurve. En hel del forskning i Renergi har rettet seg mot leverandørindustrien. Greaker (2006) og Greaker og Rosendahl (2008) er opptatt av hvorvidt en streng klimapolitikk er gunstig for leverandørindustrien til ny energiteknologi og spesielt om stram klimapolitikk fremmer eksport fra slik industri. De finner at stram klimapolitikk gir en mer produktiv leverandørindustri, men at virkningene av klimapolitikk ikke kan skjermes til norske leverandører. I og med at leverandørindustrien lever i internasjonal konkurranse, er det grunn til å vente økt produktivitet både blant hjemmebasert og utenlandsbaserte leverandører. Golombek og Hoel (2004) peker på at hvis man tar økt produktivitet blant leverandørene med i bildet, kan såkalt karbonlekkasje være et mindre problem enn man ellers ville trodd.

Flere forskningsarbeider i Renergi har sett nærmere på koblingen mellom FOU og eksportindustri mer generelt. Koblingen er kjent fra vekstøkonomiene i Asia, der erfaring tilsier at en stor eksportindustri skjerper den innenlandske produktiviteten. Veien er da ikke lang til å støtte eksportindustrien som et tillegg- eller alternativ til å støtte FOU. I Europa er ikke dette aktuelt pga EØS, men i andre land og situasjoner kan det være aktuelt. Det finnes dessuten mange eksempler på skjult eksportstøtte. Bye, Fæhn og Grünfeld (2011) viser at dersom handel øker effekten av egen FOU, kan eksportstøtte være et vel så gunstig virkemiddel som FoU-støtte. Bye, Fæhn og Heggedal (2009) slår fast at når markedet for høyteknologiske produkter i et lite land er begrenset, vil effekten av støtte til FoU i private bedrifter være vesentlig større dersom produsentene har tilgang til et verdensmarked. Dette arbeidet gir med andre ord et argument for å støtte eksportindustriens FoU. Samlet sett og når en tar hensyn til EØS blir konklusjonen på arbeidene nevnt i denne boksen at verken streng klimapolitikk eller støtte til eksportindustri er aktuelle virkemidler for å fremme en levedyktig, eksportrettet leverandørindustri. Det er FOU-virkemidlet som bør brukes.

Kommende internasjonale klimaavtaler bør også ta hensyn til samspillet mellom tradisjonell utslippsbegrensning og FoU. Kyotoavtalen med de fleksible mekanismene legger vekt på kostnadseffektiv utslippsbegrensning og så langt som mulig én pris på CO<sub>2</sub>. Det viser seg at en slik avtale gir for lav stimulans til FoU og er dermed ikke optimal uten en teknologiavtale i tillegg (Golombek og Hoel, 2005). Med forskjeller i eksterne virkninger av FoU mellom land er det ikke klart at én pris på CO<sub>2</sub> er det beste (Golombek og Hoel, 2008). På den annen side, en teknologiavtale uten tradisjonell utslippsbegrensningsavtale ved siden av, fører enten til mer FoU enn det som er optimalt, eller til for høye utslipp (Golombek og Hoel, 2011). Litteraturen om internasjonale avtaler er også opptatt av om slike avtaler er selvregulerende. Teknologiavtaler kan være selvregulerende dersom resultatet av landenes innsats er



større enn summen av hva de kunne oppnådd alene (Hoel og de Zeeuw, 2010). I tillegg må de deltagende landene klare å holde resultatene for seg selv gjennom patenter og liknende.

## **Boks 2      En NOU preget av Renergi**

I 2009 forelå utredningen *Globale miljøutfordringer – norsk politikk* med undertittelen *Hvordan bærekraft og klima bedre kan ivaretas i offentlige beslutningsprosesser*. Utvalget ble ledet av den nåværende sentralbanksjefen. Et av punktene i utvalgets mandat var «Hvilke hindringer eksisterer for en effektiv innføring av ny og mer bærekraftig og miljøvennlig teknologi? Hvordan kan myndighetene ta hensyn til eventuelle slike hindringer i sine beslutninger?» Virkemidler for teknologiinnføring er ikke det samme som virkemidler for teknologiutvikling, men Renergis forskning om endogen teknologiutvikling er likevel et sentral premiss for utvalget. Rapportens kapittel 10 er viet Virkemidler knyttet til teknologiutvikling, og er sterkt preget av samfunnsøkonomisk forskning utført for Renergi. Vedlegg 2 til utredningen er skrevet med støtte fra Renergi, og «redegjør for optimal virkemiddelbruk for å stimulere til teknologiutvikling på klima- og energiområdet, i hvilken grad vurderingen av virkemiddelbruken vil være en annen for dette feltet enn for teknologiutvikling generelt, og hvilken betydning samspill med andre klimapolitiske virkemidler vil ha.» Utvalget tilrår blant annet at klimarelatert FOU bør støttes via forskningsbudsjettene og ikke via en særlig høy nasjonal skyggepris på CO<sub>2</sub>, men lave globale priser på CO<sub>2</sub> er et argument for høyere satsing på FOU. Utvalget anbefaler å prioritere teknologiløsninger som kan gi store globale utslippsreduksjoner, ikke bare nasjonale.

Gjennom sine bidrag til å forstå hvordan teknologiutvikling formes av virkemidler som CO<sub>2</sub>-avgift, FoU-virkemidler og internasjonale avtaler har forskningen i Renergi medvirket til å fargelegge det kartet som handler om konsekvensene av å innføre endogen teknologi i økonomiske modeller. Dette er et kart som etter hvert skal overlates politikere og beslutningstakere slik at de har bedre grunnlag for å vurdere samspill og avveining mellom klimavirkemidler og FoU-virkemidler (Boks 2). Kommende forskningsprogrammer på energi- og miljøområdet, Renergi sine arvtagere, vil være blant dem som nyter godt av dette.

## **1. Innledning**

Teknologiutvikling har stått og står sentralt for Renergi. Det passet derfor godt med programmets tema da sentrale samfunnsøkonomiske miljøer alt fra første utlysning foreslo prosjekter om samspillet mellom "økonomi" og "teknologi". Her kan nevnes Bruvolls prosjekt om vekst, miljø og teknologisk framgang og Kverndokks prosjekt om klimaavtaler og teknologisk utvikling. Fra de senere årene har vi for eksempel Greakers prosjekt om subsidiering av FoU og karbonreduksjon i åpne økonomier; Golombeks prosjekt om internasjonale klimaavtaler post Kyoto og teknologisk innovasjon; og Byes prosjekt om spredning av klimateknologier. Se liste i Vedlegg 1 over de åtte aktuelle prosjektene. Til sammen vil vi tro det ligger forskning for 30-40 millioner kroner i prosjektene – ikke så mye i forhold til Renergi sitt totale budsjett, men meget viktig for de beslutningstakere som skal styre etter kartene forskerne lager. Sentrale resultater fra

denne forskningen er allerede brukt for eksempel i offentlige utredninger, Bye m.fl. (2009). De viktigste institusjonene på feltet har vært Frischsenteret og SSB.<sup>1</sup>

Gjennomgangen som følger her, omfatter altså samfunnsøkonomisk forskning om forholdet mellom økonomi og teknologi. Gjennomgangen begrenser seg til utgivelser i engelskspråklige fagfelleverderte tidsskrifter. Noen arbeider av høy kvalitet kan dermed ha falt utenom (og noen dårlige sluppet gjennom), men vi legger til grunn at publisering i et engelskspråklig tidsskrift med fagfellebedømming er en relativt god indikator på kvalitet. Verken institusjonene eller Renergi har en presis oversikt over hvilke artikler som er skrevet med støtte fra Renergi og hvilke som har fått støtte fra annet hold. Institusjonene rapporterer riktignok inn til Renergi, men rapporteringen skjer mens mange artikler fortsatt er på Working paper stadiet. De kan ikke alltid spores videre, for eksempel fordi de skifter navn eller fordi de aldri kommer så langt som til publisering. De artiklene som ligger til grunn for denne rapporten er kjennetegnet ved at de tematisk og tidsmessig passer med forskningsprosjekter om endogen teknologi fra vedkommende institusjon. I praksis har jeg inkludert artikler fra SSB, Frischsenteret og Universitetet i Oslo (Økonomisk institutt). Publikasjoner fra Cicero (Hovi, Kalbekken, Westskog), IFE (Finden) og NTNU (Ryghaug, Holtan Sørensen) er gjennomgått på overskriftsnivå, uten at jeg fant noen som var relevant for rapportens tema.

Jeg har funnet 25 relevante artikler. For å få et inntrykk av hvilken betydning artiklene har hatt, kan en se på hvor mange som har sitert hver artikkel (Tabell 1.1 og Vedlegg 3). Hele 16 av artiklene er sitert mer enn 10 ganger. To artikler er sitert mer enn 50 ganger. Som vanlig er det tendens til at eldre artikler er mest sitert.

**Tabell 1.1 De mest siterte artiklene på feltet i Renergi**

Forfatter, årstall	Tittel	Antall siteringer
Rosendahl (2004)	Cost-effective environmental policy: Implications of induced technological change	63
Golombek og Hoel (2004)	Unilateral emission reductions and cross-country technology spillovers	52
Kverndokk, Rosendahl og Rutherford (2004)	Climate policies and induced technological change: Which to choose, the carrot or the stick?	48
Kverndokk og Rosendahl (2007)	Climate policies and learning by doing: Impacts and timing of technology subsidies	36
Gerlagh, Kverndokk og Rosendahl (2009)	Optimal timing of climate change policy: Interaction between carbon taxes and innovation externalities	34

<sup>1</sup> Dette er de eneste institusjonene med prosjektlederansvar i følge listen i vedlegg, men det kan være andre institusjoner inne som underleverandører.

Greaker (2006)	Spillovers in the development of new pollution abatement technology: A new look at the Porter hypothesis	34
----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

---

Kilde: Google Scholar per 7. April 2012

Innholdsmessig kan artiklene deles i tre grupper. Gruppe nummer én undersøker betydningen av FoU-eksternaliteter for klimapolitikken. Forutsetningen i disse artiklene er at FoU-støtten ikke kan settes fritt, og klimapolitikken brukes for å utløse innovasjoner og teknologiforbedring i klimagunstig retning. Gruppe nummer to undersøker betydningen av klimaeksternaliteter for FoU-politikken. Forutsetningen i flere av disse artiklene er at CO<sub>2</sub>-prisen ikke kan settes fritt. Spørsmålet er hvilke følger det får for FoU-politikken. Artiklene i gruppe en og gruppe to fokuserer i hovedsak på nasjonale virkemidler. I gruppe nummer tre løftes problemstillingene opp på internasjonalt nivå og en ser på avtaler mellom land. Kyotoavtalen er som kjent en avtale om utslippsreduksjoner og tilsvarer situasjonen der man bare har klimavirkemidlet tilgjengelig. Spørsmålet i artiklene i gruppe tre er hvilke følger det får for en avtale om utslippsreduksjoner at man tar FoU-eksternalitetene innover seg. I andre artikler i gruppe tre utforskes egenskapene ved en teknologiavtale, som tilsvarer den motsatte ytterligheten. Litteraturen viser også at den beste løsningen er å kombinere utslippsbegrensning og FoU-stimulans. Det gjelder enten man ser på nasjonale eller internasjonale virkemidler og avtaler.

Jeg gir et resymé av viktige artikler som er utgitt i Renergi, og vil også prøve å trekke forbindelseslinjer mellom dem. Det er hensiktsmessig å dele inn notatet på samme måte som litteraturen kan deles inn. Først vil jeg imidlertid gi et innblikk i hvordan samfunnsøkonomien tenker om innovasjonsprosessen, og relatere det til den for mange velkjente lærekurven. Det gir en bakgrunn for å forstå diskusjonen om virkemidler som følger etterpå.

## **2. Bakom lærekurven**

Jeg starter altså med et begrep som mange ingeniører kjenner og som er sentralt for Renergi, nemlig *lærekurven*. Lærekurven til en teknologi er en empirisk sammenheng mellom enhetskostnad og installert kapasitet (eller en annen indikator for omfang). Lærekurven postulerer at en dobling av installert kapasitet gir en bestemt reduksjon i enhetskostnad. Reduksjonen kan variere mellom teknologier, men for en og samme teknologi er den konstant over en rimelig tidshorisont. For en og samme teknologi gjelder altså samme prosentvise reduksjon i kostnad dersom kapasiteten dobles, og dobles igjen osv.

Lærekurven kan kritiseres for å være mekanistisk og mangle adferdsbegrunnelse. I det minste er det behov for å forstå den bedre. Et viktig bidrag i så måte er Greaker og Sagen (2008). Greaker og Sagen peker på fem mulige årsaker til at kostnader faller med installert kapasitet: For det første kan teknologibrukeren (for eksempel et kraftselskap som bruker en vindmølle til å produsere vindkraft) over tid organisere arbeidsprosesser og rutiner på en mer effektiv måte. Han kan også hente inspirasjon fra andre. Dette kalles "learning-by-doing" eller på norsk prøving og feiling. For det andre kan

leverandøren av teknologi (for eksempel en leverandør av vindmøller) komme opp med bedre løsninger. Det kalles gjerne prosessinnovasjon. I likhet med prøving og feiling kan prosessinnovasjoner bygge på egne og andres erfaringer. For det tredje kan både teknologileverandør og teknologibruker dra nytte av utenforliggende innovasjoner i generelle teknologier med mange anvendelser, for eksempel IKT. Her er vi inne på skillet mellom anvendte og generelle teknologier som ble nevnt i innledningen (Bresnahan og Trajtenberg, 1995). For det fjerde synker som regel enhetskostnadene når produksjonsskalaen øker. Dette kalles stordriftsfordel. De store vindkraftleverandørene er for eksempel i gang med å øke turbinkapasiteten til 3 og 5 MW, og kostnadsreduksjoner forventes. For det femte fører økninger i installert kapasitet til at markedet for underleverandører øker, for eksempel leverandører av deler til vindkraftanlegg. En større etterspørsel etter underleverandørenes produkter kan, fordi produksjonskapasiteten er begrenset, på kort sikt øke marginene deres. Det betyr i så fall økte, og ikke reduserte enhetskostnader. Men på lengre sikt vil normalt konkurransen øke og marginene for underleverandørene vil som regel presses ned. Siden markedet nå er større, blir konkurransen hardere enn opprinnelig, og enhetskostnadene for teknologien vi er interessert i, synker lavere enn før. Denne dynamikken kjennetegner for eksempel leverandørmarkedet for både vind og solteknologi. Konkurransen mellom underleverandører kan også bidra til flere prosessinnovasjoner.

Hva er så viktigst av disse fem faktorene? Greaker og Sagen gjennomfører en økonometrisk undersøkelse av kostnadene for flytende naturgass, LNG. De blir noe overrasket, sier de selv, over å finne at den klart viktigste faktoren ligger i markedet for underleverandører. Denne faktoren forklarer brorparten av den observerte kostnadsutviklingen, og den fremstår i følge forfatteren som kjernen i lærekurven, i hvert fall så lenge vi snakker om LNG.

Artikkelen til Greaker og Sagen oppsummerer et økonomisk begrepsapparat som er nyttig for å diskutere annen forskning, og den gir en spirende hypotese om hva som er de viktige drivkreftene å sette fokus på.

### ***3. Klimavirkemidler og Produktivitet***

Greaker (2006) og Greaker og Rosendahl (2008) utforsker betydningen av markedet for underleverandører nærmere. Vi fokuserer på Greaker og Rosendahl (2008), som er ferskest og har brakt teoriutviklingen lengst. Greaker og Rosendahl stiller spørsmålet om en strengere klimapolitikk kan stimulere konkurransen og marginene blant underleverandører av miljøteknologi. Videre spør de om en streng klimapolitikk også kan være gunstig for å utvikle en leverandørindustri som kan konkurrere på verdensmarkedet. Kan man bruke klimapolitikken strategisk for å skape en levedyktig eksportindustri?

For å besvare spørsmålene, setter Greaker og Rosendahl opp en spillteoretisk modell med myndigheter og industrien som deltagere. Myndighetene trekker først, og annonserer en klimapolitikk med industriutvikling i leverandørmarkedet for øyet. I neste trekk initierer bedriftene i leverandørindustrien forskning og utvikling, idet de ser et større marked komme og skjønner at det gjelder å posisjonere seg i dette markedet. I

tredje og siste trekk konkurrerer bedriftene oligopolistisk om å levere sine produktvarianter til teknologiprodusentene.

Konklusjonen på analysen er at en streng klimapolitikk stimulerer konkurranse og innovasjoner blant underleverandører, noe som i neste omgang bidrar til produktivitetsutvikling og fremgang langs lærekurven. Men forfatterne finner ikke støtte for at en streng klimapolitikk fremmer eksport. Det skyldes det enkle faktum at innenfor EU-EØS kan ikke klimapolitikken diskriminere mellom innenlandske og utenlandske leverandører. Dermed stimulerer vår politikk den utenlandske leverandørindustrien i like høy grad som den innenlandske. Konklusjonen til Greaker og Rosendahl fremstår som et viktig apropos til offentlig debatt og til påstanden om at Norge bør bruke klimapolitikken til å utvikle en fremtidsrettet leverandørindustri. Det er ikke sikkert det er så lett som det ser ut.

Et liknende perspektiv på denne problemstillingen er presentert av Golombek og Hoel (2004). De argumenterer for at med endogen teknologiutvikling kan såkalt karbonlekkasje bli et mindre problem. Det er fordi en stram klimapolitikk i land A gir opphav til innovasjoner i land A og B som man også tas i bruk i land B. Med andre ord kan utslippene gå ned også i land B selv om enkelte bedrifter skulle finne på å flytte fra land A til B for å unngå den strengere politikken i land A.

Så langt om leverandørindustrien. I et annet arbeid ser Rosendahl (2004) på den delen av innovasjonsprosessen som er knyttet til at en tar lærdom av andres erfaringer med teknologibruk og prosessutvikling. Inspirert av de tidlige artiklene fra 80- og 90-tallet antar Rosendahl at når en gjør seg erfaringer, vil deler av kunnskapen tilflyte andre sektorer og næringer uten at det betales for det. For eksempel vil en kraftprodusent som setter opp en vindmølle i dag, gjøre bruk av hva man tidligere har lært om den beste lokaliseringen, om optimal tilkobling til kraftnettet, om hvordan man håndterer fugler i rotorbladene, og om prosaiske forhold rundt drift og vedlikehold, for å nevne noen eksempler av ulike typer. Alt dette er frukter av erfaringer andre har gjort. I økonomisk forstand har vi å gjøre med en positiv ekstern virkning, siden den som setter opp en vindmølle i dag, ikke betaler for alle deler av kunnskapen som er ervervet.

Den positive eksterne virkningen fører til at klimapolitikken bør være strengere enn en tradisjonell "kostnadseffektiv" politikregel ville tilsi. Dette høres kanskje opplagt ut, men det var ikke like opplagt før artikkelen ble skrevet, og den er den mest siterte av alle som er blitt støttet av Renergi på feltet. Rosendahl peker også på at dersom den positive eksterne virkningen varierer mellom bedrifter, sektorer eller land på en systematisk måte, bør det være systematiske forskjeller i hvilken klimapolitikk landene fører. Spesielt antar han at de eksterne virkningene i tradisjonelt rike land ofte vil være større enn i andre land. Dette kan være et argument for særlig streng klimapolitikk i rike land og for å gjennomføre tiltak hjemme. Innsikten fra artikkelen peker fram mot det norske klimaforliket og forberedelsen av klimameldingen. Innsikten har altså særlig gyldighet i en situasjon der FoU-virkemidlet ikke settes fritt.

I arbeidene referert til nå, legges det ikke spesiell vekt på dosering av virkemidler over tid. I praksis har de fleste land klimamålsettinger fremover tid, og virkemidlene må nødvendigvis derfor også ha en tidsdimensjon. Flere av artiklene støttet av Renergi har utforsket tidsdimensjonen. Gerlagh, Kverndokk og Rosendahl (2009) ser for seg at de klimavennlige teknologiene blir mer og mer modne, og antar at de positive eksterne

virkningene er størst til å begynne med. De finner dermed at klimapolitikken bør være strengest til å begynne med. Dette er et argument for å dosere klimapolitikken kraftig i den tiden vi lever i nå, og ikke vente. Det kan være ulike årsaker til at de positive eksterne virkningene er sterkest til å begynne med. Greaker og Pade (2009) peker på såkalte intertemporale kunnskapseksternaliteter som en viktig årsak. En intertemporal kunnskapseksternalitet betyr enkelt sagt at det er fremtidens bedrifter som får glede av det som utvikles nå. (Sløyfer man adjektivet intertemporal, sier man ikke om det er fremtidens eller dagens bedrifter som får denne gleden). Greaker og Pade peker også på at den eksterne andelen av en samlet nytteeffekt i praksis er større desto svakere patentrettighetene er. For eksempel kan en tenke seg at ett års lengre patent gir den som utvikler teknologien mulighet til å høste inntekter knyttet til intertemporale kunnskapseffekter i ett år til.

En stram klimapolitikk kan altså føre til økt produktivitet for teknologibrukere gjennom prøving og feiling; og den kan føre til innovasjoner, økt konkurranse og lavere marginer blant teknologiprodusenter og underleverandører. Alt bidrar til produktivitsutvikling og synkende enhetskostnader langs lærekurven. Med dette som bakgrunn kan en tillate seg å spørre om en strammere klimapolitikk kan tenkes å utløse produktivitsgevinster i et slikt omfang at de overstiger de tradisjonelle økonomiske kostnadene. Er klimapolitikken en fri lunsj? På 1990-tallet kom et par artikler som lett kan tolkes i retning av at klimapolitikken er en fri lunsj (Porter 1991; Porter og van der Linde, 1995). Derfor er artiklene til Telle og Larsson (2007) Larsson og Telle (2008) og Bye, Bruvoll og Larsson (2009) spennende. Men dessverre, kan man kanskje si, finner ikke Telle og Larsson (2007) utvetydig støtte for at miljøpolitikken (som i artikkelen består av klima og luftforurensing) er en fri lunsj. De finner på den annen side heller ikke støtte for det motsatte, at miljøpolitikken koster. Effekten er ikke signifikant. Larsson og Telle (2008) ser på EUs IPPC-direktiv og argumenterer for at et krav om Best Available Technology for mange bedrifters vedkommende vil være kostnadsfritt å etterkomme, men enkelte bedrifter vil påføres betydelige kostnader. De anbefaler at direktivet bør fravikes der kostnadene er store. Denne analysen tar i mindre grad hensyn til de eksterne virkningene som ellers har vært temaet for dette kapitlet. Det er kostnadene for bedriftene selv man ser på. Bye, Bruvoll og Larsson (2009) studerer treforedlingsindustrien, og finner at selv om produktiviteten øker over tid i tradisjonell forstand, blir ikke bedriftene mer produktive i forhold til klimagassutslipp. Klimaproduktivitet er med andre ord i følge denne analysen ikke noe som kommer av seg selv, uten miljøreguleringer. Denne artikkelen er ellers et viktig metodisk arbeid som utvikler en ny måte å måle produktivitet på.

#### **4. FoU-virkemidler og klima**

Jeg går nå over til den Renergi-støttede litteraturen som drøfter FoU-tilskudd til klimavennlig teknologi. Et grunnleggende spørsmål som har opptatt denne litteraturen, er om det offentlige FoU-tilskuddet bør være størst i en situasjon der klimapolitikken er streng, eller om den bør være størst i en situasjon der klimapolitikken er svak.

I utgangspunktet er ikke svaret opplagt. Vi har nettopp sett at dersom FoU-politikken mangler eller er svak, bør klimapolitikken være ekstra streng. Man kunne tenke seg at

det samme gjelder motsatt vei: Dersom klimapolitikken mangler, bør man satse ekstra på FoU-støtte. Men det går også an å argumentere for at en streng klimapolitikk øker behovet for FoU-støtte: Med en streng klimapolitikk er det stor betalingsvilje for FoU-resultatene, men dersom innovasjonsmiljøene bare får tak i en andel av den samlede effekten, er den eksterne virkningen større og behovet for FoU-støtte også større desto strengere klimapolitikken er.

Heggedal og Jacobsen (2011) og Bye og Jacobsen (2011) legger vekt på det andre av disse argumentene, altså det poenget at den eksterne virkningen stiger desto strengere klimapolitikken er. Disse artiklene gjør bruk av en modell for norsk økonomi som tallfester innovasjonsprosessen ved hjelp av de fem komponentene nevnt i kapittel 2. Modellen for innovasjonsprosessen knyttes så sammen med en modell av resten av den norske økonomien, som dermed blir en anvendt generell likevektsmodell med endogen teknologiutvikling. Dette er et stort og viktig arbeid i SSBs forskningsavdeling som Renergi har støttet, og som gir mulighet for å tallfeste de effektene som omtales fortegnsmessig i mange av de andre artiklene. Tallfesting er nødvendig for å gi operasjonelle råd. Det er for eksempel én sak å anbefale at klimapolitikken bør være strengere enn ellers, og en ganske annen sak å anbefale hvor mye strengere den bør være.

I modellen til Heggedal og Jacobsen er prisen på CO<sub>2</sub> i 2050 enten 400 kroner (70 dollar) eller 800 kroner per tonn. Anta at prisen er 400 kroner. I dette tilfellet vil 1000 kroner til forskning gi 3700 kroner igjen i form av økt neddiskontert inntekt og forbruk. Dersom prisen er 800 kroner gir 1000 kroner til forskning 4100 kroner igjen. Avkastningen er størst når prisen på CO<sub>2</sub> er høy, og det er konklusjonen forfatterne fester seg ved. Vi andre kan peke på at den samfunnsmessige avkastningen av FoU-støtte uansett er ganske formidabel. Bye og Jacobsen (2011) finner også at støtte til FoU i klimavennlige teknologier kaster mest av seg når prisen på CO<sub>2</sub> er høy.

En viktig grunn til at Heggedal og Jacobsen finner disse resultatene, er at i deres modell er en streng klimapolitikk et uttrykk for at klimaproblemet er alvorlig. Prisen på CO<sub>2</sub> reflekterer klimaeksternaliteten på en perfekt måte, og forfatterne varierer eksternaliteten parametrisert. Situasjonen er ikke helt sammenliknbar med modellene vi så på over, der miljøpolitikken skulle kompensere for at tilskuddet til FoU ikke dekket FoU-eksternaliteten.

Derfor er det interessant at Greaker og Rosendahl (2007) finner det samme resultatet som Heggedal og Jacobsen i en modell der klimapolitikken ikke reflekterer klimaeksternaliteten på en perfekt måte. I modellen til Greaker og Rosendahl brukes klimapolitikken som vi husker delvis til å utløse konkurranse blant underleverandører til en ny teknologi, og er derfor strengere enn klimaeksternaliteten tilsier. Like fullt finner disse forfatterne at dersom klimapolitikken er streng, bør FoU-tilskuddet være høyere enn om klimapolitikken er mindre streng. Poenget til Greaker og Rosendahl er at klimapolitikken og FoU-politikken kan være såkalte strategiske komplementariteter. Mekanismen er for øvrig liknende den hos Heggedal og Jacobsen (2011): En streng klimapolitikk øker markedet for nye teknologier, slik at støtte til FoU får et større nedslagsfelt.

Bye og Jacobsen (2011) studerer i første rekke spørsmålet om knappe ressurser skal brukes til å stimulere generell FoU eller FoU i klimavennlige teknologier. De forutsetter

at det er læringseffekter av generell FoU og klimavennlig FoU hver for seg, men for å sette distinksjonen mellom de to typene FoU på spissen, antar de at den ene typen FoU ikke kan lære av den andre typen. Under disse forutsetningene finner de at det er best for myndighetene å prioritere knappe ressurser på alminnelig FoU. Grunnen til ikke å prioritere klimavennlig FoU, er at klimavennlig FoU har et smalere virkeområde, den påvirker bare energimarkedene. Dersom klima er veldig viktig for samfunnet blir riktignok forskjellen liten. Innsikten til Bye og Jacobsen (2011) kan blant annet brukes som en liten advarsel mot å satse store penger på for eksempel CCS. I denne sammenhengen er det også interessant når Golombek m.fl. (2011) finner at nye kullkraftverk med CCS installert ser ut til å kunne overleve i et fremtidig europeisk elektrisitetsmarked ved en CO<sub>2</sub>-kvotepris på 35 dollar per tonn. Etterinstallasjon ("retrofit") av CCS på eksisterende kraftverk er derimot ikke lønnsomt uten ytterligere støtte til akkurat denne teknologien. I lys av resultatene til Bye og Jacobsen er det tvilsomt om etterinstallasjon er å anbefale. For øvrig skal en ikke se bort fra muligheten for at andre forskere vil utfordre Bye og Jacobsens kanskje noe uventede resultater. Det illustrerer i tilfelle at Bye og Jacobsen (2011) fyller et kjennetegn for god forskning: Forskning som stiller opp dristige hypoteser og verifiserer (ikke falsifiserer) dem.

Flere artikler som skriver om FoU som virkemiddel har vært opptatt av tidsforløpet for tilskudd til FoU. Heggedal og Jacobsen (2011) sammenlikner tre profiler: I profil nummer en økes FoU-tilskuddet over tid. I profil nummer to holdes det konstant over tid. I profil nummer tre reduseres FoU-tilskuddet over tid. Analysen tyder på at FoU-tilskuddet bør reduseres over tid. Profil nummer tre er den mest fordelaktige. Tilsvarende finner Kverndokk og Rosendahl (2007) og Gerlagh m.fl. (2009) at tilskuddet til FoU bør være størst til å begynne med. Dette er resultater som rimer med ett jeg refererte tidligere, nemlig at dersom FoU-virkemidlet ikke er fritt tilgjengelig, bør klimapolitikken være streng til å begynne med. Intuisjonen er langt på vei den samme også: forfatterne legger til grunn at de eksterne virkningene av FoU er størst når teknologiene er unge og umodne.

Selv om disse resultatene tar til orde for å gjøre forskningen fortung i tid, tror jeg ikke det er forfatternes oppfatning at forskningen på renere energikilder nødvendigvis bør trappes ned fremover. Konklusjonen er snarere en funksjon av at i hvert fall noen av arbeidene følger én CO<sub>2</sub>-fri teknologi som introduseres innledningsvis i modellforløpet. I virkeligheten vil det jo hele tiden lanseres nye CO<sub>2</sub>-frie teknologier, slik at det hele tiden vil være noen som befinner seg ved innledningen av modellforløpet. Spørsmålet blir da hvor store de eksterne virkningene er for disse teknologiene. Mange vil mene at det vil variere og at det ikke er tendens til at de blir mindre med tiden. Dette poenget understrekes indirekte av Kverndokk m.fl. (2004) og Kverndokk og Rosendahl (2007), som advarer mot å opprettholde støtten til en teknologi for lenge av den grunn at det kan føre til lock-in i en halvgod teknologi. Lock-in betegner en situasjon der den enkelte henger seg på den gjeldende teknologien, selv om det ville være bedre om alle brukte en ny teknologi. Et eksempel som av og til brukes er bensinbiler, som er attraktive å kjøpe blant annet fordi det finnes bensinstasjoner overalt (Greaker og Heggedal, 2010). I hvert fall er det sann at markedet for elbiler eller hydrogenbiler ikke fungerer uten lade- og fyllestasjoner. Dersom man støtter en halvgod teknologi, er frykten at man kan ende opp i den halvgode løsningen på området ren energi. Men dette er jo i hovedsak et problem dersom man lar være å støtte neste umodne teknologi som kommer.



## **5. Klimaavtaler**

Den samfunnsøkonomiske litteraturen om utforming av avtaler under hensyn til endogen teknologi er i Norge knyttet til to navn, Rolf Golombek ved Frischsenteret og Michael Hoel ved Universitetet i Oslo. Jeg har funnet syv artikler som disse to har skrevet sammen på feltet. I tillegg har Michael Hoel en artikkel med Aart de Zeeuw. Til sammen gir artiklene et fengslende inntrykk av hvordan et forskningsfelt drives fremover i løpet av en snau tiårsperiode.

Det hele innledes med Golombek og Hoel (2005). Dette er et typisk eksempel på et arbeid som river ned tidligere sannheter, og bereder grunnen for å bygge opp noe nytt. Forskningshistorien er full av slike artikler, og de er en normal og viktig del av forskningens progresjon. Den tidligere sannheten var at en kostnadseffektiv avtale gjennomføres ved hjelp av omsettelige kvoter, slik Kyotoavtalen legger opp til. Poenget med omsettelige kvoter er at kvoteprisen blir lik i alle land og utslippene kuttes der de er billigst. Eventuelt kan man få til det samme ved hjelp av en internasjonal felles avgift, et system økonomer har diskutert jevnlig og som ligger klar i den faglige verktøykassen om det skulle trenge.

Golombek og Hoel (2005) studerer egenskapene til disse systemene, altså omsettelige kvoter og en internasjonal avgift, under hensyn til at teknologi er endogen og FoU gir opphav til positive eksterne effekter. De kan da slå fast at verken omsettelige kvoter eller en internasjonal avgift fyller betingelsene for en optimal avtale. De poengterer at selv om kvoteprisen gir perfekt uttrykk for klimaeksternaliteten og aktørene dermed vil tjene (gode) penger på å utvikle klimavennlig teknologi, så oppstår det for lite FoU i en slik situasjon. Grunnen er selvfølgelig at en kvoteavtale ikke ivaretar hensynet til FoU-eksternaliteten. En avgiftsavtale kommer enda dårligere ut.

Vi ser at temaet her er akkurat den samme som i artiklene om nasjonal klimapolitikk. Vi har ett virkemiddel som skal løse to oppgaver, dvs. det skal både ivareta klimaeksternaliteten og FoU-eksternaliteten. Da er det ikke optimalt å legge all vekt på klimaeksternaliteten slik en avtale av Kyoto-typen ser ut til å gjøre. Den forskjellen som bringes inn når man ser på en internasjonal avtale er at FoU-eksternaliteten er internasjonal. FoU-eksternaliteten går altså nå mellom bedrifter, forskningsmiljøer og andre aktører i ulike land. Den FoU-eksternaliteten som oppstår mellom aktører innad i et land, er tema for artiklene om nasjonal politikk.

Empirisk sett er det viktig å skille mellom nasjonale og internasjonale FoU-eksternaliteter. I den empiriske modellen utviklet i SSB er brorparten av eksternaliteten internasjonal. Læringseffektene av norsk forskning går altså i stor grad ut av landet, og vi lærer selv av forskning og innovasjon utført i andre land. Det forhold at mye av eksternaliteten er internasjonal, svekker argumentene for stor nasjonal forskningsinnsats for renere energi med mindre det er som del av en internasjonal avtale.

Golombek og Hoel (2006) utvikler argumentene rundt avtaleverk og FoU videre. De viser at dersom FoU ikke reguleres av avtalen, blir den nasjonale FoU-innsatsen i hvert deltagerland lavere enn optimalt fordi den nasjonale innsatsen normalt ikke dimensjoneres for å ta hensyn til den internasjonale eksternaliteten. Organisatorene av

en kvoteavtale bør da svare med å avtale ytterligere utslippsbegrensninger enn det som ellers ville vært optimalt. Dette er for å skape et større marked for FoU, helt parallelt med resonnetet jeg tidligere refererte på nasjonalt nivå.

Som nevnt er den internasjonale delen av FoU-eksternaliteten ventelig større for små land enn for store land. Forutsatt rasjonelle forskningsbevilgninger trekker det i retning av at store land bruker mer penger på forskning enn små land. Dette innebærer videre at avviket i forhold til det internasjonalt felles beste, ofte er størst i små land. Golombek og Hoel (2008) utvider modellen fra 2006 til å gripe fatt i akkurat dette. Argumentet til Golombek og Hoel (2008) er at organisatorene av en kvoteavtale bør gi små land spesielt små kvoter slik at forskning og innovasjon i disse landene kan bli stimulert. Men for at små kvoter skal utløse den forskningen man internasjonalt sett ønsker, kan ikke kvotene være omsettelige. Golombek og Hoel (2008) inneholder altså en advarsel mot omsettelige kvoter.

Det må understrekes at advarselen mot omsettelighet bare gjelder dersom de nasjonale kvotene er satt optimalt for å oppnå både utslippsreduksjon og FoU. Dersom kvotene ikke er satt med dette for øyet, kan det hende omsettelighet likevel er bedre enn ikke-omsettelighet. Her kan det være grunn til å minne om Rosendahl (2004), som også argumenterte med at forskning og innovasjon var særlig underfinansiert i små og rike land. Rosendahl argumenterte for å differensiere klimapolitikken mellom land til å korrigere dette, men artikkelen legger ikke opp til at dette nødvendigvis skal skje innenfor rammen av en avtale. Dersom landene selv korrigerer for skjevheten, bør ikke avtaleverket pålegge at det gjøres en gang til.

Den foreløpig siste artikkelen på feltet, Golombek og Hoel (2011) skifter fokus og studerer en teknologiutviklingsavtale. En teknologiutviklingsavtale er en avtale mellom land om å utvikle teknologi sammen. Implementeringen kan landene overlate til bransjeorganisasjoner og liknende. Det kan være verdt å merke seg at motivasjonen nå har snudd fra å kritisere en eksisterende avtale til å peke på muligheter og begrensninger ved en ny avtaleform. Etter å ha revet ned er altså forskningen om internasjonale avtaler nå i gang med å bygge opp igjen. Andre artikler har pekt på enkelte fordeler ved en teknologiutviklingsavtale. For eksempel peker Hoel og de Zeeuw (2010) på at en teknologiavtale lettere kan håndheve seg selv dersom man tenker seg at det bare er deltagende land (og aktørene i disse landene) som får glede av teknologien som forskes frem.<sup>2</sup> Golombek, Greaker og Hoel (2010) peker på at en klimaavtale kan være uegnet til å frembringe innovasjon, fordi innovasjon tar tid og derfor lever av en fremtidig utslippsbegrensning. Men en fremtidig utslippsbegrensning kan politikerne løpe fra, og innovasjonsmiljøene bør ikke nødvendigvis stole på løftene om fremtidig begrensning. En teknologiavtale kan utformes slik at den gir tilskudd her og nå, og har ikke tilsvarende problem.

---

<sup>2</sup> Professor Jon Hovi ved Institutt for Statsvitenskap og Cicero, og hans medarbeidere, har i flere viktige artikler skrevet med støtte fra Renergi belyst håndhevingsproblemet fra ulike hold. I disse artiklene har imidlertid ikke endogen teknologi vært hovedfokus og jeg går ikke inn på dem her.

Slik tilfellet har vært i mange artikler som er gjennomgått her, studerer Golombek og Hoel (2011) den beste utformingen av ett virkemiddel gitt at et annet er låst. Konkret antar de en eksogen CO<sub>2</sub>-avgift i hvert land. I denne situasjonen viser de at en ren teknologiavtale innebærer større tilskudd til FoU desto lavere CO<sub>2</sub>-avgiften er (for et gitt klimaproblem). Golombek og Hoel finner med andre ord at FoU-tilskuddet kompenserer for manglende klimapolitikk. Det er det resultatet vi ville vente, men som verken Heggedal og Jacobsen (2011) eller Greaker og Rosendahl (2007) fant.

Golombek og Hoel (2011) gjør også forsøk på å sammenlikne en ren utslippsbegrensningsavtale med en ren teknologiavtale. Hva er å foretrekke? Innenfor rammen av deres modell finnes det ingen entydig konklusjon på spørsmålet. Forfatterne viser at dersom klimaproblemet er ubetydelig, er en ren teknologiavtale noe bedre enn utslippsbegrensningsavtale. Dersom klimaproblemet er alvorlig, kan en utslippsbegrensningsavtale være bedre enn en teknologiavtale, men det kommer an på parameterne i modellen. Generelt kan man ikke si at det ene er bedre enn det annet. Det beste vil imidlertid være en avtale som både omfatter utslippsbegrensning og teknologiutvikling.

## **6. Konklusjon**

Ved slutten av forrige århundre og i inngangen til dette åpnet samfunnsøkonomene et stort nytt forskningsprogram i vitenskapsteoretisk forstand, kjennetegnet ved endogen teknologi. Samtidig, ved inngangen til dette århundret åpnet Norges forskningsråd et stort nytt forskningsprogram i praktisk forstand, kalt Renergi. Forskningsprogrammet Renergi har gitt norske forskere mulighet til å bidra innen forskningsprogrammet endogen teknologi. Dette notatet har gitt smakebiter fra forskningen som har foregått.

Et kjennetegn ved den samfunnsøkonomiske forskningen på feltet er at den prøver å trekke konsekvensene av valgte forutsetninger så langt som mulig. Et eksempel er arbeidene som studerer hvor streng en utslippsbegrensning bør være når hensikten både er å begrense utslipp og å utløse FoU. Dette er egentlig en pussig forutsetning: Man tenker seg en samfunnsplanlegger som godt vet at det skjer for lite klimavennlig FoU i samfunnet, men som nekter seg selv muligheten til å bruke det virkemiddelet som virker best for å løse problemet, nemlig tilskudd til FoU. Det er på en måte en planlegger med en arm bundet på ryggen som studeres, en planlegger som av uutgrunnelige årsaker velger å angripe FoU-problemet ved hjelp av en ekstra omdreining med utslippsbegrensning. Dette bryr ikke forskeren seg om, han jager på for å se hvor langt den valgte forutsetningen kan bringe ham.

På denne måten fyller forskerne ut et stort kart. Til å begynne med jobber de bare i et hjørne og lager noe som er brukbart for den beslutningstaker som av en eller annen grunn befinner seg der. Men etter hvert trekkes forbindelseslinjene mellom de ulike fargelagte feltene, og kartet fremstår mer og mer som et brukbart hele. På feltet endogen teknologi har Renergi bidratt til dette. Og det kan Renergi være stolt av.

### **Referanser<sup>3</sup>**

Bresnahan, Timothy F. og Trajtenberg, M. (1995): General purpose technologies 'Engines of growth'? *Journal of Econometrics*, 65, 1, 83-108.

Bye, Brita, Taran Fæhn, Tom-Reiel Heggedal og Liv Mari Hatlen (2009): Teknologiutvikling, klima og virkemiddelbruk. Rapport til Utvalget for bærekraftig utvikling og klima. *Vedlegg 2 til NOU 2009:16 Globale miljøutfordringer – norsk politikk*.

Griliches, Zvi (1992): The Search for R&D Spillovers. *Scandinavian Journal of Economics*, 94, S29-47, Supplement.

Lucas, Robert E. (1988): On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22, 3-42.

Porter, Michael E. (1991): America's green strategy. *Scientific American*, 264, 168.

Porter, Michael E. og Claas van der Linde (1995): Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *The Journal of Economic Perspectives*, 9, 4, 97-118.

Romer, Paul M. (1986): Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94, 5, 1002-1037.

Romer, Paul M. (1990): Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98, 5 Part 2, S71-S102

---

<sup>3</sup> Bare referanser utenom de diskuterte artiklene fra Renergi.

### **Vedlegg 1 – Samfunnsøkonomiske prosjekter i Renergi om økonomiske virkemidler og teknologi**

Hva	Hvem	Når
Diffusion of climate technologies	Brita Bye, SSB	2010-2013
Subsidizing R&D and installment of carbon abatement in open economies	Mats Greaker, SSB	2008-2011
Post Kyoto Climate Agreements and Technological Innovation	Rolf Golombek, Frisch	2006-2008
Interactions between technological development, climate policy and energy markets – national and international perspectives	Knut Einar Rosendahl, SSB	2006-2008
International Climate policies and induced technological change	Rolf Golombek, Frisch	2004-2005
Innovation policies versus abatement policies in a small, open economy with a climate restriction	Brita Bye, SSB	2004-2005
Vekst, miljø og teknologisk framgang	Annegrete Bruvoll, SSB	2001-2004
Klimaavtaler og teknologisk utvikling	Snorre Kverndøkk, Frisch	2001-2004

## **Vedlegg 2 – Artikler om økonomiske virkemidler og teknologi støttet av Renergi<sup>4</sup>**

Bye, Brita; Taran Fæhn og Leo A Grünfeld (2011): Growth and Innovation Policy in a Small, Open Economy: Should You Stimulate Domestic R&D or Exports?, *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy*, 11, 1, Article 42.

Bye, Brita, Taran Fæhn og Tom-Reiel Heggedal (2009): Welfare and growth impacts of innovation in a small, open economy: An applied general equilibrium analysis, *Economic Modelling* 26, 1075-1088.

Bye, Brita og Karl Jacobsen (2011): Restricted carbon emissions and directed R&D support: An applied general equilibrium analysis. *Energy Economics*, 33, 543-555.

Bye, Torstein, Annegrete Bruvoll og Jan Larsson (2009): Capacity utilization in a generalized Malmquist index including environmental factors: A decomposition analysis. *Land Economics*, 85, 3, 529-538.

Gerlagh, Reyer, Snorre Kverndokk og Knut Einar Rosendahl (2009): Optimal timing of climate change policy: Interaction between carbon taxes and innovation externalities. *Environmental & Resource Economics*, 43, 369-390.

Golombek, Rolf og Michael Hoel (2004): Unilateral emission reductions and cross-country technology spillovers. *Advances in Economic Analysis & Policy*, 4, 2, article 3 (online).

Golombek, Rolf og Michael Hoel (2005): Climate policy under technology spillovers. *Environmental & Resource Economics*, 31, 201-227.

Golombek, Rolf og Michael Hoel (2006): Second best climate agreements and technology policy. *Advances in Economic Analysis & Policy*, 6, 1, (online).

Golombek, Rolf og Michael Hoel (2006): Climate agreements and technology spillovers – a modeling approach, *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 9, 319-325.

Golombek, Rolf og Michael Hoel (2008): Endogenous technologies and tradable emission quotas. *Resource and Energy Economics*, 30, 197-208.

Golombek, Rolf og Michael Hoel (2011): International cooperation on climate-friendly technologies. *Environmental & Resource Economics*, 49, 473-490.

---

<sup>4</sup> Det er vanskelig å få oversikt over hvilke publiseringer Renergi faktisk har bidratt til. Dette er litteraturen i engelskspråklige fagfellebedømte tidsskrifter som denne rapporten legger til grunn er heller delfinansiert av Renergi.

Golombek, Rolf, Mads Greaker og Michael Hoel (2010): Carbon taxes and innovation without commitment. *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy*, 10, 1, article 32 (online).

Golombek, Rolf, Mads Greaker, Sverre A.C. Kittelsen, Ole Røgeberg og Finn Roar Aune (2011): Carbon capture and storage technologies in the European power market, *Energy Journal*, 32, 3, 209-238.

Greaker, Mads (2006): Spillovers in the development of new pollution abatement technology: A new look at the Porter hypothesis. *Journal of Environmental Economics and Management*, 52, 411-420.

Greaker, Mads og Tom-Reiel Heggedal (2010): Lock-in and the transition to hydrogen cars: Should governments intervene? *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy*, 10, 1, (online).

Greaker, Mads og Knut Einar Rosendahl (2008): Environmental policy with upstream pollution abatement technology firms. *Journal of Environmental Economics and Management*, 56, 246-259.

Greaker, Mads og Lise-Lotte Pade (2009): Optimal carbon dioxide abatement and technological change: Should emission taxes start high in order to spur R&D? *Climatic Change*, 96, 3, 335-355.

Greaker, Mads og Eirik Lund Sagen (2008): Explaining experience curves for new energy technologies: A case study of liquefied natural gas. *Energy Economics*, 30, 2899-2911.

Heggedal, Tom-Reiel og Karl Jacobsen (2011): Timing of innovation policies when carbon emissions are restricted: An applied general equilibrium analysis. *Resource and Energy Economics*, 33, 913-937.

Hoel, Michael og Aart de Zeeuw (2010): Can a focus on breakthrough technologies improve the performance of international environmental agreements? *Environmental & Resource Economics*, 47, 395-406.

Kverndokk, Snorre og Knut Einar Rosendahl (2007): Climate policies and learning by doing: Impacts and timing of technology subsidies. *Resource and Energy Economics*, 29, 58-82.

Kverndokk, Snorre, Knut Einar Rosendahl og Thomas F. Rutherford (2004): Climate polices and induced technological change: Which to choose, the carrot or the stick? *Environmental & Resource Economics*, 27, 21-41.

Larsson, Jan og Kjetil Telle (2008): Consequences of the IPPC's BAT requirement for emissions and abatement costs: A DEA analysis on Norwegian data. *Environmental & Resource Economics*, 41, 563-578.

Rosendahl, Knut Einar (2004): Cost-effective environmental policy: Implications of induced technological change. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48, 1099-1121.

Telle, Kjetil og Jan Larsson (2007): Do environmental regulation hamper productivity growth? How accounting for improvements of plants' environmental performance can change the conclusion. *Ecological Economics*, 61, 438-445.



### ***Vedlegg 3 – Fullstendig liste over siteringer***

Forfatter, årstall	Tittel	Antall siteringer
Rosendahl (2004)	Cost-effective environmental policy: Implications of induced technological change	63
Golombek og Hoel (2004)	Unilateral emission reductions and cross-country technology spillovers	52
Kverndokk, Rosendahl og Rutherford (2004)	Climate policies and induced technological change: Which to choose, the carrot or the stick?	48
Kverndokk og Rosendahl (2007)	Climate policies and learning by doing: Impacts and timing of technology subsidies	36
Gerlagh, Kverndokk og Rosendahl (2009)	Optimal timing of climate change policy: Interaction between carbon taxes and innovation externalities	34
Greaker (2006)	Spillovers in the development of new pollution abatement technology: A new look at the Porter hypothesis	34
Golombek og Hoel (2005)	Climate policy and technology spillovers	32
Golombek, Greaker og Hoel (2010)	Carbon taxes and innovation without commitment	30
Hoel og de Zeeuw (2010)	Can a focus on breakthrough technologies improve the performance of international environmental agreements?	27
Golombek og Hoel (2011)	International cooperation on climate-friendly technologies	26
Golombek og Hoel (2006)	Second best climate agreements and technology policy	18
Greaker og Rosendahl (2008)	Environmental policy with upstream pollution abatement technology firms	15
Greaker og Pade (2009)	Optimal carbon dioxide abatement and technological change: Should emission taxes start high in order to spur R&D?	14

Greaker og Sagen (2008)	Explaining experience curves for new energy technologies: A case study of liquefied natural gas	13
Golombek m.fl. (2011)	Carbon capture and storage technologies in the European power market	11
Telle og Larsson (2007)	Do environmental regulation hamper productivity growth? How accounting for improvements of plants' environmental performance can change the conclusion	11
Heggedal og Jacobsen (2011)	Timing of innovation policies when carbon emissions are restricted: An applied general equilibrium analysis	7
Golombek og Hoel (2008)	Endogenous technologies and tradable emission quotas	7
Bye, Fæhn og Heggedal (2009)	Welfare and growth impacts of innovation in a small, open economy: An applied general equilibrium analysis	7
Greaker og Heggedal (2010)	Lock-in and the transition to hydrogen cars: Should governments intervene?	6
Larsson og Telle (2008)	Consequences of the IPPC's BAT requirement for emissions and abatement costs: A DEA analysis on Norwegian data	4
Bye og Jacobsen (2011)	Restricted carbon emissions and directed R&D support: An applied general equilibrium analysis	2
Bye T., Bruvoll og Larsson	Capacity utilization in a generalized Malmquist index including environmental factors: A decomposition analysis	1
Bye, Fæhn og Grünfeld (2011)	Growth and Innovation Policy in a Small, Open Economy: Should You Stimulate Domestic R&D or Exports?	1
Golombek og Hoel (2006)	Climate agreements and technology spillovers – a modeling approach	-

---

Kilde Google Scholar per 7. april 2012

