

*Brita Bye, Taran Fæhn, Tom-Reiel Heggedal og Liv  
Mari Hatlen*

## **Teknologiutvikling, klima og virkemiddelbruk**

---

*Rapporter* I denne serien publiseres statistiske analyser, metode- og modellbeskrivelser fra de enkelte forsknings- og statistikkområder. Også resultater av ulike enkeltundersøkelser publiseres her, oftest med utfyllende kommentarer og analyser.

© Statistisk sentralbyrå, juni 2009.	<b>Standardtegn i tabeller</b>	<b>Symbol</b>
Ved bruk av materiale fra denne publikasjonen skal Statistisk sentralbyrå oppgis som kilde.	Tall kan ikke forekomme	.
	Oppgave mangler	..
	Oppgave mangler foreløpig	...
	Tall kan ikke offentliggjøres	:
	Null	-
ISBN 978-82-537-7619-4 Trykt versjon	Mindre enn 0,5 av den brukte enheten	0
ISBN 978-82-537-7620-0 Elektronisk versjon	Mindre enn 0,05 av den brukte enheten	0,0
ISSN 0806-2056	Foreløpig tall	*
Emne: 01.04.10/10.03	Brudd i den loddrette serien	—
Trykk: Statistisk sentralbyrå	Brudd i den vannrette serien	
	Desimaltegn	,

## Sammendrag

Omfattende teknologisk endring er avgjørende dersom vi skal klare å begrense utslippene av klimagasser. Denne rapporten belyser hvilken rolle teknologipolitikk kan ha på klimaområdet både internasjonalt og nasjonalt, men med spesiell vekt på de nasjonale problemstillingene. Rapporten redegjør for optimal virkemiddelbruk for å stimulere til utvikling og spredning av klimateknologier og hvilken betydning samspill med andre klimapolitiske virkemidler vil ha.

Både klimaendringer og teknologiske endringer er globale fenomener med ulike former for svikt i markedene som kan gå på tvers av landegrensene. I tillegg kommer at disse prosessene er trege. Disse momentene gjør klimaproblematikken og teknologiutviklingen på klimafeltet svært utfordrende for verdenssamfunnet. For et lite, åpent land som Norge vil produktivitsveksten i stor grad drives av forhold utenfor landegrensene. De globale rammebetingelsene må tas som gitt. Dette har innvirkning på hva som er fornuftige nasjonale mål og virkemidler. Vi diskuterer teknologipolitikk under ulike målsettinger fra myndighetenes side.

En global lik pris på klimagassutslipp er det mest målrettede og kostnadseffektive virkemiddelet for å motvirke klimaendringene. Prising av klimagassutslipp virker til å stimulere utvikling og bruk av klimateknologier. I hvilken grad det skal innføres internasjonale og nasjonale virkemidler rettet direkte mot å stimulere til utvikling og spredning av klimateknologier, avhenger av om svikt i markedene fører til for lave nivåer på slike aktiviteter i forhold til hva som er best i samfunnsøkonomisk forstand. Det er bred enighet i litteraturen om at markedsimperfeksjoner fører til at den samfunnsøkonomiske avkastningen av forskning og utvikling (FoU) er høyere enn den privatøkonomiske avkastningen. Mangel på detaljert informasjon om størrelsen på slike effektivitetskiler gjør at vi anbefaler uniforme støttesatser til innenlandsk FoU, klimarelevant som annen. Når det gjelder tiltak for økt bruk av klimateknologier, bør dette begrunnes i konkrete markedsimperfeksjoner knyttet til den enkelte teknologi. Ofte vil behovet for inngrep falle bort etter en overgangsperiode.

**Prosjektstøtte:** Finansdepartementet. Rapporten er også trykket som vedlegg i NOU 2009:16.

## Innhold

<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Innledning</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Definisjon av teknologiutvikling og -spredning på klimaområdet</b> .....	<b>6</b>
2.1. Teknologisk utvikling .....	6
2.2. Klimateknologier.....	6
<b>3. Klimateknologiske endringer; incentiver i markedene</b> .....	<b>10</b>
3.1. Imperfeksjoner i markedene for FoU .....	10
3.2. Imperfeksjoner i markedene for teknologispredning.....	11
3.3. Klimaeksternaliteter.....	13
<b>4. Valg av virkemidler</b> .....	<b>14</b>
4.1. Globalt perspektiv (lukket økonomi) .....	14
4.2. Norsk perspektiv.....	16
<b>5. Konklusjoner og avsluttende merknader</b> .....	<b>23</b>
<b>Referanser</b> .....	<b>25</b>

## 1. Innledning

I denne rapporten belyser vi teknologiutvikling som drivkraft for vekst og velferd og hvilken betydning teknologiutvikling spesielt kan ha på klimaområdet. Vi 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. Rapporten tar utgangspunkt i eksisterende internasjonal litteratur på området, samt redegjør for relevante norske analyser. Vi legger vekt på situasjonen for et lite åpent land som Norge og rollen nasjonal teknologipolitikk kan ha.

Omfattende teknologisk endring er avgjørende dersom vi skal klare å begrense klimaendringene. Dagens energibruk er i stor grad basert på fossile brensler med store CO<sub>2</sub>-utslipp. Vi trenger en dramatisk omlegging til nye energiteknologier (IEA, 2008). Utviklingen av klimateknologi er avhengig av at det skapes et marked for slike teknologier blant annet gjennom prising av utslipp. Både klimaendringene og teknologisk endring er globale fenomener med markedsimperfeksjoner som går på tvers av landegrensene. I tillegg kommer at klimaendringene er en treg prosess; det vi slipper ut i dag vil ha virkninger på miljøet og samfunnet langt fremover i tid. Det betyr at det haster å få ned de globale utslippene. Disse momentene gjør klimaproblematikken og teknologiutviklingen på klimafeltet svært utfordrende for verdenssamfunnet.

En global pris på klimagassutslipp er det mest målrettede og kostnadseffektive virkemiddelet for å redusere utslippene av klimagasser. Norske myndigheter kan først og fremst ta ansvar for å redusere de globale utslippene av klimagasser gjennom å bidra til å få på plass internasjonale, effektive samarbeidsavtaler om utslippsreduksjoner. Som et av verdens rikeste land har vi også gode muligheter for å bety noe i finansieringen av de globale utslippsbegrensningene. Gjennom Klimaforliket har Stortinget og Regjeringen bestemt seg for å bidra mer til globale utslippsreduksjoner enn forpliktelsene i Kyoto-avtalen tilsier for årene etter Kyoto-perioden. De har satt seg ambisiøse mål som blant annet skal gjennomføres tilknyttet EUs kvotehandelsystem. I tillegg legger Klimaforliket opp til særlige målsettinger for innenlandske utslippsreduksjoner. Hovedfokuset i denne rapporten er hvordan teknologiutvikling kan og bør spille en rolle gitt klimapolitiske mål og virkemiddelbruk.

Prising av klimagassutslipp virker til å stimulere teknologiutvikling og bruk av ny utslippsreduserende teknologi. De viktigste prisingsvirkemidlene er CO<sub>2</sub>-avgiften rettet mot 23 prosent av de innenlandske utslippene, samt den norske tilknytningen til EUs kvotesystem, som gjelder 42 prosent av de norske utslippene (NOU 2007:8). Mer direkte reguleringer av utslipp ved forbud, teknologikrav og lignende virker også til teknologiendringer. I tillegg benyttes virkemidler direkte rettet mot stimulering av teknologiutvikling. Generelle støtteordninger for bedrifter som Innovasjon Norge og Skattefunn (totalt 5,8 mrd kroner i 2007; Norges forskningsråd, 2007; Stortingsmelding nr. 1 (2008-2009)) retter seg mot all type teknologiutvikling. Utover dette kommer støtteordninger som retter seg mot forskning, utvikling og demonstrasjon av alternative energiformer og annen type miljøteknologi. Dette skjer både gjennom midler til forskning som via NFR-programmer som RENERGI og CLIMIT, og gjennom midler til implementering av nye teknologier gjennom Gassnova, Enova og Transnova. Det har vært rettet spesielt fokus mot utvikling og implementering av teknologier for CO<sub>2</sub>-håndtering fra gasskraftverk, og den samlede rammen på bevilgningene til disse formålene over de ulike programmene anslås til 1 925 millioner kroner, Stortingsmelding nr. 1 (2008-2009).

I denne rapporten vil vi se på hvordan den generelle politikken rettet mot teknologiutvikling skal utformes, og i hvilken grad teknologipolitikken på klimaområdet eventuelt skal avvike fra den generelle politikken.

## 2. Definisjon av teknologiutvikling og -spredning på klimaområdet

### 2.1. Teknologisk utvikling

Teknologisk endring er betegnelser på alle typer endringer som øker produksjonsmulighetene uten å øke faktorinnsatsen (Jaffe mfl., 2002). Faktorinnsatsen blir dermed mer produktiv. Dette kan skje ved at bedre prosesser eller organisasjonsformer utvikles og tas i bruk, eller ved at kvaliteten på produksjonen øker.

Idéene til Schumpeter (1942) er utgangspunkt for nesten all teoriutvikling på feltet. Han delte den teknologiske endringsprosessen i tre: *Invention*, eller oppdagelse/oppfinnelse, betegner selve utviklingen av nye idéer. Dette skjer først og fremst i forsknings- og utviklings (FoU)-prosesser. Utprøving og pilotprosjekter inngår i denne fasen. *Innovation* betegner kommersialiseringen av de nye idéene, slik at de blir tilgjengelige i markeder. Den siste fasen er spredningsfasen (*diffusion*), hvor de nye prosessene eller produktene tas i bruk og spres i økonomien.

I begrepet *teknologiutvikling* i denne rapporten inkluderer vi Schumpeters *invention* og *innovation*. Det vil si at vi inkluderer all type FoU-basert frembringelse av nye teknologier som fremmer produktiviteten. Vi utelater altså forskning og utvikling som ikke først og fremst drives med tanke på økt produktivitet.<sup>1</sup> Et krav til teknologiutvikling er at løsningene er nye for økonomien (verden) som helhet.

I denne rapporten vil vi bruke begrepet *teknologispredning* synonymt med ordet *teknologiimplementering*, og det omfatter Schumpeters *diffusion*. Det dreier seg både om implementering av allerede utviklede teknologier innenfor økonomien og spredning av teknologier over landegrensene. I noen sammenhenger er det ikke noe tydelig skille mellom teknologiutvikling og teknologispredning. For eksempel vil umodne teknologier gjerne utvikles ved at de spres, gjennom såkalte læringsprosesser i utnyttelsen av teknologien. Et annet eksempel er at utvikling av teknologi i en økonomi ikke bare bidrar direkte til økt produktivitet, men også kan bidra til akselerert spredning av lignende teknologier i den samme økonomien, fordi teknologiutvikling gjør aktører/miljøer bedre i stand til å ta i mot – eller absorbere – teknologier som er utviklet andre steder og spres.

### 2.2. Klimateknologier

Klimagassutslipp og andre miljøskadelige utslipp kan ses på som innsatsfaktorer i produksjonen eller forbruket. Klimateknologiske endringer vil være endringer som gir produksjonsøkning eller bedre produkt/forbruksgode uten at klimautslippene øker.<sup>2</sup> Sagt på en annen måte er det endringer som reduserer utslippene uten at produksjonsnivået eller forbruket faller. Forbedring i klimautslippsteknologier kan deles i fire grupper: *Rensing*, dvs. utskillelse av klimagasser fra de enkelte prosessene, *effektivisering*, dvs. mindre faktorinnsats per produsert enhet, *substitusjon*, dvs. erstatning av utslippintensive produksjonsfaktorer med andre, samt *teknologi-omlegging*, dvs. investering i helt andre teknologier som fremskaffer det samme produktet til lavere enhetsutslipp.

*Rensing* vil innbefatte metodene for karbonfangst og -lagring (Carbon Capture and Storage – CCS). *Effektivisering* innebærer å justere produksjonsteknikken slik at faktorene som inngår brukes mer effektivt i prosessene. Dersom vi snarere får en

<sup>1</sup> I statistikkproduksjonen rundt teknologiutvikling og -spredning er det innført felles definisjoner og standarder. Disse overlapper ikke fullt ut med våre. Blant annet omfatter begrepet *FoU* i statistikken også grunnforskning; jf. Frascatimanualen (OECD, 2002). Begrepet *innovasjon* i statistikken skiller seg fra Schumpeters *innovasjon* ved å også innbefatte deler av hva Schumpeter ville kalt spredning; jf. Oslomanualen (OECD, 2005).

<sup>2</sup> Vi utelater dermed teknologiske endringer på områdene geoengineering og tilpasning til klimaendringer.

endring i komposisjonen av faktorer mot lavere andeler av dem som er komplementære med utslipp, slik som fossilt brensel, har vi klimagassreducerende *substitusjon*. *Teknologiomlegginger* er mer drastiske tilpasninger, hvor man investerer i helt nye teknologier og løsninger for å fremstille de samme varene/tjenestene. Hvis de nye teknologiene resulterer i andre egenskaper ved produktet, vil det muligens ikke være et perfekt substitutt for eksisterende varer og tjenester. Det kan være bedre i utslippsmessig forstand, men dette kan ha gått på bekostning av ytelsen på andre områder, og produsenter og konsumenter må gjøre en avveining av kostnader og nytte.

I det følgende vil vi gå gjennom noen aktuelle former for klimateknologier, med vekt på CO<sub>2</sub>-reducerende tilpasninger.<sup>3</sup> Selv om det i prinsippet kan være fruktbart å skille former for teknologiske omlegginger fra hverandre som over, vil mange aktuelle klimateknologier være vanskelig å kategorisere som enten det ene eller det andre.

### CCS

CCS renses CO<sub>2</sub>-gassen enten før, under eller etter forbrenningsprosesser. Det kan være aktuelt når det gjelder utslipp fra større kraftverk basert på fossilt brensel (gass, kull, olje). CCS kan også nyttes ved andre store CO<sub>2</sub>-punktutslipp som fra industrianlegg (eks. sement, stål og aluminium), ev. mange mellomstore industri-anlegg hvor en får utnyttet stordriftsfordeler i CCS-prosessen (særlig i transport og lagring).

Utskillelse av CO<sub>2</sub> fra eksosen etter forbrenningen har funnet sted kalles røykgassrensing. Slike rensenanlegg kan ettermonteres og er de aktuelle ved anleggene på Kårstø og Mongstad. Absorpsjon av CO<sub>2</sub> i aminløsning er en slik metode, som allerede er utprøvd. CO<sub>2</sub> kan deretter frigjøres fra væsken ved å øke temperaturen. Rensegraden for CO<sub>2</sub> er rundt 85 %. Denne prosessen er energikrevende og vil kreve 10-30 % mer naturgass for å produsere en kWh kraft sammenliknet med dagens gasskraftverk (IFE, 2006).

I alternative CCS-teknologier er CO<sub>2</sub>-utskillelsen enten integrert i selve forbrenningsprosessen eller den skjer *før* forbrenningen, slik at en helt annen forbrenningsteknologi må installeres. Oxyfuel-anlegg er betegnelsen på en type gasskraftverk som bruker konsentrert oksygen, og ikke luft, i forbrenningen av naturgass. Dette gjør at eksosen etter forbrenningen bare inneholder CO<sub>2</sub> og vanddamp, og CO<sub>2</sub> kan enkelt skilles ut ved hjelp av nedkjøling. Denne prosessen vil ha en rensegrad på 100 % i en lukket forbrenningsprosess, men krever produksjon av oksygen, som er en energikrevende prosess (NOU 2002:7). Avkarbonisering av naturgass er en teknologi som separerer CO<sub>2</sub> *før* forbrenningen. Naturgassen omdannes først til en gassblanding bestående av hydrogen og CO. I neste trinn omgjøres CO til CO<sub>2</sub> som vaskes ut av gassblandingen. Den nye hydrogengassblandingen, fri for CO, brukes til forbrenning i gasskraftverket i stedet for naturgass. Denne metoden har en rensegrad på 83-86 %. Når naturgass omdannes til hydrogen, tapes energi. Det finnes foreløpig ingen eksempler på eksisterende anlegg med en så tett integrasjon mellom reformeringsanlegg og kraftverk som dette konseptet er basert på (IFE, 2006).

### Effektivisering

Effektivisering av innsatsfaktorer/forbruksgoder kan for eksempel oppnås ved å utnytte stordriftsfordeler ved å slå sammen produksjonsenheter eller koordinere aktører. Effektivisering kan også skje over tid ved at reinvesteringer skjer i kapitalvarer som er litt bedre enn de gamle (embodied technological change). Effektivisering gir besparelser, og reduserte kostnader for den enkelte aktør vil stimulere aktivitetsnivået og få konsekvenser for markedsprisene. Det er dermed

<sup>3</sup> Karbondioksid sto i 2007 for nær 82 prosent av de samlede norske klimagassutslippene målt i CO<sub>2</sub> ekvivalenter (GWP).

usikkert om totalutslippene vil falle selv om utslippene per produsert eller konsumert enhet faller, Saunders (2000).

Transportteknologi har hatt en stadig utvikling i retning av økt motoreffekt per drivstoffenhed. Effektiviseringen har gitt mulighet for å redusere utslippene av CO<sub>2</sub> per kjørte km, men også stimulert til bruk av tyngre og større kjøretøy og til økt bilbruk. Energibruken i husholdninger, industri og næringsbygg kan effektiviseres med eksisterende tekniske løsninger, og slike tiltak kan redusere utslipp direkte eller indirekte. Det lønnsomme energieffektiviseringspotensialet ser ikke ut til å bli fullt ut utnyttet, hvilket kan tyde på at det er markedsimperfeksjoner eller usikkerhet i markedene som hindrer slike tilpasninger. Eksempler på tiltak for å redusere energi til oppvarming er etterisolering, utskifting av vinduer, varmegjenvinning og varmestyringssystemer. I industri og næringsbygg reduseres effektiviteten over tid, kapital blir slitt eller anleggene er feil dimensjonert i forhold til faktiske behov. I kraftproduksjonen kan utnyttingsgraden økes. Petroleumsvirksomheten er i dag avhengig av offshore gassturbiner for kraftforsyning. Disse gassturbinene har en virkningsgrad på 30 %, og sammenliknet med gasskraftverk på land, som har en virkningsgrad på rundt 50 %, er det et potensial for effektivitetsforbedringer innenfor kraftforsyningen på den norske kontinentalsokkelen (IFE, 2006). Stordriftfordeler i jordbruk og fiske innebærer at større enheter kan gi effektivisering av energi eller andre utslippsgenererende innsatsfaktorer, slik som gjødsel.

### **Elektrifisering**

Med elektrifisering mener vi installering av/investering i nye teknologier som er basert på elektrisitet snarere enn fossile brensler. Dette kan ha karakter av teknikkjusteringer i form av substitusjon eller mer omfattende teknologiomlegginger. Elektrifisering vil selvsagt bare være utslippsreducerende dersom elektrisiteten som kommer til erstatning har lavere utslipp.

Det finnes et potensial for overføring av transport til bane basert på elektrisitet. Potensialet vurderes som relativt lavt for kortere strekninger, men det finnes tiltak som kan fremme overføring av gods fra vei til bane, SFT (2007). Slik overgang vil kreve koordinering i form av betydelige offentlige infrastrukturinvesteringer. Overgang fra veitransport med bensin- og dieslbiler til elektriske biler eller hybridbiler vil ikke kreve samme grad av infrastrukturinvesteringer. Elektriske biler drives av en elektromotor som får strøm fra en batteripakke. Denne teknologien er foreløpig kostbar, og det er behov for en radikal forbedring i mulighetene for å lagre elektrisk energi før elektriske biler blir fullgode substitutter for bensin- og dieslbiler. Hybridbiler kombinerer bruk av forbrenningsmotor og elektrisk motor i et og samme kjøretøy og er foreløpig den mest lovende teknologien, fordi den fleksibelt kan kombinere yteevnen til forbrenningsmotorer med reduserte utslipp, avhengig av bruksområdet og bruksmåten til den enkelte. Den elektriske motoren står bak fremdriften og får energi fra batterier eller en strømproduserende generator. Forbrenningsmotoren kan også drive hjulene direkte, men tanken bak hybridløsningen er at den normalt skal operere i driftsområder der utslippene er relativt lave og virkningsgraden høy (NOU 2006:18). Plug-in hybrid biler er en slik løsning.

Elektrifisering kan være aktuelt i offshorenæringen, hvor mange prosesser drives av naturgassdrevne prosesser. Det vil kreve store endringer for å elektrifisere sokkelen, i form av sjøkabler, omformerstasjoner, nye plattformer og ombygging av allerede eksisterende innredninger.

### **Bioenergi**

Overgang fra fossil energi til bioenergi kan i noen tilfeller betraktes som substitusjon innenfor samme teknologi, men vil ofte fordre investeringer i helt nye teknologier/kapitalutstyr og kanskje også nye produkter/ytelser for brukerne.



Biodrivstoff kan blandes med fossil bensin og diesel. Innblanding av 2-5 % biodrivstoff fordrer ingen justeringer av motoren. Økt mengde biodrivstoff i blandingen med fossile energibærere vil kreve endringer av motoren. Tilpassede kjøretøy kan gå på 100 % biodrivstoff (NOU 2006:18).

Stasjonær forbrenning av olje og parafin kan erstattes av tilsvarende utstyr som bruker bioenergi i form av flis, pellets eller ved. Noe av den økte bruken av biobrensel vil kunne skje uten økte investeringer, da mange har mulighet for vedfyring. Overgang fra oljefyring vil kreve investeringer i nye kjeler for bioenergi eller pellets. I prosessindustrien er det i hovedsak treforedlingsindustrien som brenner større mengder olje eller gass, som kan erstattes med bioenergi (IFE, 2006).

### **Hydrogen**

Teknologiomlegging fra fossile brennstoff til hydrogen kan være én av løsningene for å redusere utslipp av klimagasser, se blant annet NOU 2004:11. Hydrogen kan brukes som brennstoff for blant annet biler og båter. Ved konvertering av hydrogen til energi ved hjelp av for eksempel brenselceller, dannes kun vanddamp som reststoff. Dermed kan en oppnå en transportsektor uten utslipp. Hydrogen kan også brukes til energilagring ved overskuddsproduksjon fra energikilder. For eksempel kan en lagre energi fra vindmøller i tider med lav elektrisitetsetterspørsel.

Hydrogen er ikke fritt tilgjengelig som energi, men er en energibærer som må omdannes fra en energikilde. Således er ikke energien fra hydrogen mindre utslippsintensiv enn den energikilden hydrogenet produseres fra. Hydrogen kan produseres ved reformering av fossile råstoffer eller ved hjelp av elektrolyse der en bruker elektrisitet til å spalte vann ( $H_2O$ ) til hydrogen ( $H_2$ ) og oksygen ( $O_2$ ). Ved omdannelsen til hydrogen er det et tap av energi i forhold til den opprinnelige energikilden.

Hydrogenteknologien står fremdeles ovenfor store utfordringer som krever betydelig teknologiutvikling før den kan tas i bruk på kommersielt basis. Dette gjelder energieffektivisering av både produksjon og lagring av hydrogen, samt virkningsgrad og driftssikkerhet av brenselceller.

### **Fornybar kraft**

Størsteparten av norsk kraftproduksjon er fornybar, basert på vannfall. I tillegg brukes fornybare kilder som vind og bioenergi. Solvarme, bølgekraft, tidevannskraft og saltkraft er foreløpig lite utnyttet i Norge. De fleste store vannkraftkildene er allerede utbygd, og videre vannkraftutnyttning vil være begrenset til små kraftverk. El-produksjon fra bioenergi baseres i dag i all hovedsak på ved og bruk av restprodukter i industrien (SFT, 2007). Det er mest aktuelt i forhold til varmemarkedet (IFE, 2006). Produksjon av energi fra avfall, uten samtidig varmeproduksjon, har en lav totalvirkningsgrad.

Vindkraft er den fornybare kraftteknologien som vokser sterkest på verdensbasis, med en økning på mer enn 25 % i året. Vindturbineteknologi har vært i sterk utvikling de siste 20 årene. Turbinene har til nå basert seg på en teknologi med asynkrongeneratorer og store girkasser for å få et høyt nok turtall tilpasset generatoren. Utviklingen beveger seg mot nye generatorer med lavere turtall, lettere og rimeligere komponenter. Landbaserte vindparker har en synlig negativ belastning på miljøet. Dette har ført til utbygging av vindparker på grunt vann. Vindturbiner på dypt vann er under utvikling, se IFE (2006).

### 3. Klimateknologiske endringer; incentiver i markedene

Teknologisk endring er avhengig av at markedene gir aktørene incentiver til utvikling og implementering av nye løsninger. På klimaområdet, som for teknologisk endring generelt, gjelder det at egenskaper ved markedsprosessene kan føre til at det drives for lite eller for mye i forhold til hva som er samfunnsøkonomisk ønskelige nivåer på teknologiendring. Det er markedsimperfeksjoner – eller markedssvikt – enten i FoU-markedene, i markedene for de kommersialiserte prosessene og produktene fra FoU-virksomheten eller i markedene nært knyttet til FoU-aktivitetene. Aktørene står altså ikke overfor alle gevinster og/eller kostnader ved sitt tilbud eller sin etterspørsel.

Svikt i markedene for teknologisk utvikling, dvs. forskning og utvikling av idéene til kommersielle produkter og prosesser (innovasjon) diskuterer vi nærmere i avsnitt 3.1.

Spredning og implementering av mer produktive løsninger og bedre produkter kan også være gjenstand for markedsimperfeksjoner. Dette er tema i avsnitt 3.2. For et lite, åpent land som Norge vil spredningen av landets egen teknologiutvikling spille en relativt liten rolle for den teknologiske endringen. Spredningen fra utlandet blir imidlertid desto viktigere.

Et særlig trekk ved klimateknologier er at innsatsfaktoren klimautslipp, på lignende måte som andre miljøskadelige utslipp, ikke koster noe for den enkelte forurenser med mindre myndighetene griper inn. Dette medvirker også til at miljø- og klimateknologier ikke uten videre utvikles eller tas i bruk, med mindre hver enkelt aktør stilles overfor kostnadene ved å slippe ut. Vi drøfter denne markedssvikten nærmere i avsnitt 3.3.

#### 3.1. Imperfeksjoner i markedene for FoU

Det er bred empirisk støtte for at den samfunnsøkonomiske avkastningen av FoU vanligvis er høyere enn den privatøkonomiske, slik at nivået på næringslivets FoU-innsats er lavere enn samfunnsøkonomisk ønskelig. Generelt uttrykt skyldes dette at både innenlandske produsenter og brukere av FoU-resultatene kan få mer ut av FoU-virksomheten enn det produsenten selv tar innover seg når han tilpasser sitt nivå på tilbudet av idéer/idé-baserte produkter. Griliches (1995) gjennomgår ti mikroøkonometriske studier og finner at anslag for private bedrifters avkastningsrater for FoU ligger på mellom 9 – 56 prosent, mens anslagene for de samfunnsøkonomiske er på 10 – 160 prosent. Jones og Williams (1998, 2000) beregner at samfunnsøkonomisk avkastning ligger 2,5 – 4 ganger høyere enn privatøkonomisk avkastning. Det er liten grunn til å forvente at imperfeksjonene i markedene for FoU på klimaområdet skiller seg fra annen FoU. Det vil være et gap mellom samfunnsøkonomisk og privatøkonomisk avkastning for all FoU-virksomhet. På individuelt prosjektnivå er det imidlertid svært vanskelig å anslå, og ikke minst predikere, hvor store slike gap kan være.

Én viktig kilde til slike avkastningsgap er såkalte eksterne kunnskapsspillovers forbundet med FoU-virksomhet (Romer, 1990). Ny kunnskap kan spille over til fremtidig perioder, øke produktiviteten til FoU, og gi større muligheter for videre idéutvikling. Med andre ord, når en utvikler nye idéer bruker en eksisterende kunnskap – en ”står en på skuldrene til kjemper” (Isaac Newton). Kunnskap kan karakteriseres som et offentlig gode siden det ikke er lett å ekskludere andre fra kunnskapen og den kan deles av mange uten at den forringes (ikke-rivaliserende). Hvor mye andre kan nyttiggjøre seg den akkumulerte kunnskapen fra tidligere FoU vil avhenge av mange faktorer, blant annet av hvor mange og hvem som kjenner til den nyutviklede idéen, samkvem mellom forskere, teknologer og bedrifter, om den er patentert, om den er kommersialisert, hvor generaliserbar den er, hvor mye mer

som gjenstår å utforske på feltet, dvs. *modenheten* til problemfeltet (Heggedal, 2008), og også hvor godt utviklerne klarer å beskytte seg mot slik spredning.

Beskyttelse kan oppnås ved selv å unngå å spre informasjon. Internasjonale patentsystemer, kopibeskyttelseslover og opphavsrettigheter er etablert for å sikre en viss grad av enerett. Dette er imidlertid sjelden tilstrekkelig til at gevinstene som følge av idéene beholdes i sin helhet av utvikleren. Blant annet vil spesifiseringen av et patent ved registrering i seg selv være med på å spre kunnskapen om den. Institusjoner som beskytter patenter og opphavsrettigheter skaper imidlertid også nye markedsufullkommenheter, ved at enerettigheter begrenser konkurransen i markedene. Ved markedsrettighet vet vi at prisen blir høyere enn grensekostnaden ved å markedsføre produktet, og at samfunnet som helhet ville vunnet på at tilgangen på produktene økte. Dette betegnes også som det såkalte *surplus appropriability* problem (Jones og Williams, 2000).

I tillegg har produsenten bare tilgang til deler av den nytten produktet genererer for brukerne. En vanlig måte å modellere dette på er at nye varianter av et produkt øker nytten av i produktet for forbrukerne og/eller dets produktivitet for bedrifter som nytter det i produksjonen (for eksempel i form av teknologiske investeringer); det er såkalt *love of variety* i etterspørselen (Dixit og Stiglitz, 1977). Disse fordelene for forbrukerne kan ikke produsentene få betalt for gjennom prisene i markedet, fordi hver enkelt produsent bare har kontroll over tilgangen på sin spesielle variant. Dette fungerer derfor også som en positiv eksternalitet som følge av idéutvikling – som kommer etterspørerne til gode.

Det er også trekk ved FoU-virksomhet som kan virke til for høye FoU-nivåer. Det kan for det første være at en på noen områder ikke har glede av å komme etter andre utviklere og stå på deres skuldre. Tvert i mot kan tidligere FoU bidra til at det er få gode idéer igjen å forske på. En slik såkalt *fishing-out*-effekt kan gjøre at samfunnet ville vært bedre tjent med et saktere utviklingstempo. En annen situasjon med for høy FoU-aktivitet kan oppstå dersom det er et kappløp om å nå en patenterbar idé først. Flere bedrifter forsker på samme type idé samtidig, slik at produktiviteten i FoU-sektoren som helhet blir lavere. Dette tar ikke den enkelte deltaker i patentkappløpet innover seg (Jones og Williams, 2000). For mye FoU kan også oppstå som følge av at nye idéer fortrenger eksisterende produkter som har vært lønnsomme. Nye produkter som er marginalt bedre enn eksisterende kan ta over hele markedet, og dermed vil den eksisterende innovasjonens verdi i markedet være tapt. Dette er en kostnad som ikke bæres av de nye markedsinntrederne. Prosessen betegnes gjerne *creative destruction* i litteraturen og ble introdusert i Aghion og Howitt (1992).

### 3.2. Imperfeksjoner i markedene for teknologispredning

En type svikt i markedene som implementerer teknologier er læringseksternaliteter. Dette er relativt mye belyst i litteraturen. Læringskurver beskriver hvordan en teknologi øker sin produktivitet (med avtakende rate) ettersom den blir tatt i bruk, siden implementering lærer markedet om hvordan den best kan utnyttes. Denne kunnskapen vil i mange tilfeller være et fellesgode. Dermed vil den enkelte bedrift investere i for lite av den nye teknologien, fordi den ikke tar innover seg læringsgevinsten for markedet som helhet; se Rosendahl (2004) og Kverndokk og Rosendahl (2007).

Klimateknologier kan i noen tilfeller være relativt nye, slik at læringseksternalitetene kan være større enn for andre, mer modne teknologier. Studier viser bl.a. at innenfor den danske vindmølleindustrien var det et stort element av læring da teknologiene var umodne (Rasmussen, 2001), og bruk av teknologien har gitt et stort fall i kostnadene. Det kan i mange tilfeller være vanskelig å skille mellom hvorvidt det er FoU som er drivkraft bak observerte læringskurver eller om det er læring i selve implementeringen.

En annen form for markedssvikt som vil kunne hemme spredningen av teknologier i markedet, er såkalte nettverkseksternaliteter. I tilfeller der det krever et nettverk av etterspørrere for at teknologiene blir lønnsomme, vil beslutningen til den enkelte aktør ha eksterne virkninger på de andres betalingsvilje/nytte av innovasjonen. Aktørene er enkeltvis for små til å internalisere eventuelle nettverkseksternaliteter. Hvis det fantes mekanismer for å samordne alle aktørenes beslutninger, kunne det gjort det tilstrekkelig lønnsomt å investere i teknologiene (Katz og Shapiro, 1985). Nettverkseksternaliteter kan også oppstå i markeder for komplementære goder (biler og drivstoff, pelletsovn og brensel). I et ukoordinert marked vil vi "låses fast" i dagens teknologiske løsninger. Greaker og Heggedal (2007) studerer slike innelåsingeffekter (lock-in) med hydrogenbiler som eksempel.

Nettverkseksternaliteter og innelåsingeffekter kan være et større problem i forbindelse med klimateknologier enn andre teknologier. Det kan være nettverkseksternaliteter knyttet til så vel nye som allerede utbredte teknologier. Valgene som ledet til dagens teknologisystemer ble imidlertid tatt i en tid da kostnaden ved klimautslipp ikke var inkludert. Dersom klimakostnader blir inkludert, kan det være at aktørene i markedet har større nytte av å bruke mer miljøvennlige teknologier enn de som er i bruk i dag.<sup>4</sup>

Hvis (deler av) kapitalen eller faktorene som inngår i klimateknologier er fellesgoder, vil det også være nødvendig å koordinere markedsdeltakerne for å få samfunnsøkonomisk riktig nivå på spredning av teknologiene. Tilbudet bør opp på et nivå som sikrer at summen av alles marginale betalingsvillighet er lik grensekostnaden. Slik koordinering kan være vanskelig å få realisert uten at det offentlige tar en aktiv rolle, for eksempel ved å finansiere fellesgodene og/eller opprette og organisere markeder for fellesbruk. Ulike former for infrastrukturer kan være eksempler på slike fellesgoder, slik som kollektivtransporttraséer, fellesarealer, sykkelstier etc.

I noen markeder er imperfekt eller asymmetrisk informasjon trukket frem som et problem. Når en aktør skal gjøre nyinvesteringer, kan det oppleves som for kostnadskreven å innhente og sortere informasjon om alternativene i markedet. Det kan også være situasjoner hvor tilbyderne av teknologiene er i stand til å holde igjen eller pynte på informasjon for å stille produktet sitt i et attraktivt lys; Kallbekken (2008). Eksempler på slik asymmetrisk informasjon kan gjelde ved investeringer i bolig eller bil, hvor selger er interessert i å fremstille investeringsprisen som gunstig og undertrykke at høyere investeringskostnader i dag for eksempel kan gi mer energiøkonomisk drift eller avgiftsbesparelser knyttet til utslipp. For stor vekt på investeringskostnadene kan også oppstå ved tidsinkonsistent diskontering, (for eksempel hyperbolsk diskontering; Frederick mfl., 2002). Beslutninger aktøren vurderer som best i dag er ikke er den beste for ham ettersom tiden skrider frem.

For et lite, åpent land som Norge vil spredningen av landets egen teknologiutvikling spille en relativt liten rolle for den teknologiske endringen. Spredningen av produkter og prosesser utviklet i utlandet blir desto viktigere. Det er vist at for små, åpne land er denne kilden til teknologisk endring langt viktigere enn produktiviteitsgevinstene fra egen teknologiutvikling (Coe og Helpman, 1995; Griffith mfl., 2004). Som vi alt har vært inne på, vil høyere produktivitet også kunne tilflytte oss utenom markedene, som eksterne kunnskapsspillovereffekter. Spørsmålet er om det er markedssvikt også i disse mekanismene som gjør at vi får mindre nytte av andre lands teknologiutvikling enn det som er samfunnsøkonomisk optimalt.

---

<sup>4</sup> Greaker og Heggedal (2007) viser at det kun er et koordineringsbehov i bilmarkedet dersom investerings- og brukskostnadene forbundet med den alternative teknologien (for eksempel hydrogenteknologi eller elbiler) er tilstrekkelig lave, samtidig som omstillingskostnadene ikke er for høye.

Keller (2004) er en oversiktartikkel over empirien på hvilke kanaler som er viktige for slike kunnskapsspillover over landegrensener. Import blir fremhevet som en viktig drivkraft bak absorpsjon i Coe og Helpman (1995). Importens betydning for absorpsjon er vist i flere modellstudier av små åpne land.<sup>5</sup> Det er særlig import av kapitalvarer som har en slik effekt. I de senere årene har flere studier pekt på eksport som en viktig faktor for kunnskapsabsorpsjonen fra utlandet; se blant annet Alvarez og Lopez (2006) og Bernard og Jensen (2004). Vesentlig i denne sammenheng er at det ikke bare er viktig for bedriften selv å engasjere seg i internasjonal handel; det har betydelige spillovereffekter i hjemlandet på bedriftens innenlandske leverandører, kunder og konkurrenter (Delgado mfl., 2002; Baldwin og Gu; 2003). Flere analyser har også funnet lignende effekter av direkte investeringer (Pottelsberghe og Lichtenberg, 2001; Damijan mfl., 2004).

Det er også påvist at egen FoU kan øke innenlandske bedrifters kapasitet til absorpsjon av kunnskap (Cohen og Levinthal, 1989) og å ha betydelige eksterne gevinster mellom innenlandske bedrifter. Absorpsjonskapasitet er nok et argument for at innenlandsk offentlig finansiering av FoU-virksomhet er for lav, som vist i Bye mfl. (2008) hvor det tas hensyn til absorpsjonseffekter av så vel import, som eksport og FoU.

### 3.3. Klimaeksternaliteter

Et særlig trekk ved teknologier som bidrar til å redusere klimautslipp eller miljøskadelige utslipp, generelt, er at produktivitsgevinster på dette området ikke vil være en gevinst for den enkelte med mindre de stilles overfor kostnaden ved å forverre klimaet/miljøet. Hvis ikke aktørene står overfor en pris på utslippene gjennom avgift eller kvotepris, eller utslippene er regulert på en annen måte, vil det i markedene være små incentiver til å utvikle og implementere miljøteknologier. Bare klimavennlige teknologier som samtidig gir tilstrekkelige besparelser av andre, betalte faktorer vil det være et marked for uavhengig av klimapolitikken. Det vil for eksempel være betalingsvilje for teknologier som gir energibesparelser, og avhengig av energikilde kan slike teknologier også være klimavennlige eller miljøvennlige.

---

<sup>5</sup> Studier er gjort på for eksempel Japan (Diao mfl., 1999), Canada (Russo, 2004) og Thailand (Diao mfl., 2006).

## 4. Valg av virkemidler

Dette avsnittet drøfter valg av virkemidler i lys av de typene markedssvikt vi har beskrevet. I drøftelsen skiller vi mellom et globalt og et nasjonalt perspektiv. Innenfor disse perspektivene skiller vi videre mellom den mest effektive politikkkutformingen (først-best) og andre mindre effektive politikkkutforminger (nest-best). Ved en først-best politikk korrigeres markedssviktene i teknologimarkedene ved hjelp av virkemidler rettet direkte mot disse, mens markedssvikten ved klimagassutslipp korrigeres ved virkemidler som gir en riktig pris på klimagassutslippene. Nest-best politikk tar i bruk andre virkemidler i tilfellet hvor de best egnede virkemidlene ikke er politisk tilgjengelige eller fleksible nok i praksis. En slik nest-best politikk gir oppnåelse av teknologi- og klimamålsettinger til en høyere kostnad for samfunnet enn først-best politikk (Goulder og Schneider, 1999; Fischer og Newell, 2008).

### 4.1. Globalt perspektiv (lukket økonomi)

Selv om hovedfokuset for denne rapporten er nasjonalt, er det naturlig å starte med et globalt perspektiv på virkemiddelbruken knyttet til klimateknologi. Hovedårsaken er at klimaproblematikken er global. Klimaendringene har globale miljøkonsekvenser, de er uavhengig av hvor utslippene skjer, og utslippsreduksjoner i Norge spiller en svært begrenset rolle i begrensningen av klimaendringene. Når målene er globale, vil de optimale virkemidlene være overnasjonale. Teknologisk endring skjer også for en stor del i markeder som er globale, og ikke minst har aktiviteter som gir teknologisk endring eksternaliteter som er grenseoverskridende. Mange av studiene som foreligger av optimal virkemiddelbruk overfor klima og klimateknologi, ser på verden som en lukket juridisk og økonomisk enhet (se Löschel, 2002; for en oversiktsartikkel).

#### En effektiv global klima- og teknologipolitikk (først-best)

Når det er to former for grenseoverskridende eksternaliteter – positive ved at kunnskap spres mellom land, og negative i form av klimaeffekter – vil verdenssamfunnet nå den beste tilpasningen billigst mulig ved å ha internasjonale virkemidler rettet direkte mot de to eksternalitetene. Gitt at markedene for utslippsreducerende teknologier er perfekt regulert, via for eksempel subsidier, så skal utslippsprisen tilsvarende korrigeres (perfekt) for eksternalitetene knyttet til utslippene. Det betyr at alle verdens klimautslipp altså prises likt på marginen. Dette kan oppnås gjennom etablering av globale kvotesystemer eller et internasjonalt administrert, uniformt avgiftsregime. Byrdefordelingen mellom land blir et forhandlings-spørsmål for seg, som kan realiseres gjennom ulike former for overføringer.

I praksis kan størrelsen på eksternalitetene knyttet til teknologiutvikling og -spredning variere fra område til område, og dette bør reflekteres i politikken.<sup>6</sup> Politikken rettet mot teknologiutvikling på klimaområdet er komplementær med politikken som skal regulere utslippene. Imperfeksjonene i teknologimarkedene vil være avhengig av hva som er optimal pris på klimautslippene. Prisen på klimautslipp kan påvirke både den totale teknologiutviklingen og valget mellom ulike teknologiretninger; se Goulder og Schneider (1999), Goulder og Mathai (2000) og Jaffe mfl. (2002).

Dersom det ikke er eksternaliteter eller andre imperfeksjoner forbundet med teknologiutvikling, skal den ikke subsidieres. Dette kan være teknologiutvikling i form av læringsprosesser og i form av FoU-produksjon og FoU-investeringer som fører til mindre utslipp per produsert enhet over tid. Den optimale banen for CO<sub>2</sub>-

<sup>6</sup> Enkelte klimateknologier kan for eksempel betraktes som mindre modne enn mer generelle teknologier. Ulik grad av modenhet i teknologier kan gi grunnlag for ulike subsidiesatser til FoU, Heggedal (2008). Det er imidlertid ikke gitt at det er den minst modne teknologien som skal ha størst subsidie.

avgiften vil avhenge av typen teknologiutvikling som er tilstede. Hvis det er slik at teknologiutviklingen følger av FoU investeringer over tid, kan det lønne seg å utsette noe av rensingen og den optimale banen for CO<sub>2</sub>-avgiften er dermed lavere enn i tilfellet uten FoU-investeringer (Goulder og Mathai, 2000). Hvis derimot teknologiutviklingen er drevet av læringsprosesser, er det optimalt å ha et høyt nivå på rensingen til å begynne med (høy CO<sub>2</sub>-avgift) fordi det gir en større stimulans til teknologiutviklingen, og at CO<sub>2</sub>-avgiften faller over tid (Grubler og Messner, 1998).

### **Nest-best global klima- og teknologipolitikk**

Dagens globale politikregimer for utslippsregulering og teknologisk utvikling ligger langt fra denne idealbeskrivelsen. Dagens Kyoto-avtale og ulike flernasjonale initiativ, først og fremst EUs kvotesystem, er begynnende forsøk på verdensomfattende løsninger. Det gjenstår imidlertid mye både på ambisjonsnivå, deltakelse og sektoromfang for at slike systemer skal få vesentlig innflytelse på utslippsnivået globalt og klimaendringene som følger.

Skal vi få det globalt sett riktige nivået på FoU og spredning må det etableres virkemiddelsystemer på overnasjonalt nivå og reguleringer i internasjonale lovverk. Globale systemer med tanke på optimal teknologiutvikling og -spredning er utfordrende. Det finnes internasjonale og overnasjonale systemer som patenteringsinstituttet, internasjonale opphavsrettbestemmelser, WTOs særlige regler om nasjonal FoU-støtte, regler i EU og andre mer eller mindre omfattende handelsavtaler, bilaterale teknologisamarbeid, samt ulike bistands- og utviklingsinstitusjoner med teknologioverføring som delmål. Dagens regime er langt fra i stand til å korrigere for markedsimperfeksjonene i prosessene for teknologisk endring.

Hva sier så litteraturen om nest-best optimal utforming av klimapolitikken når det også forekommer teknologisk utvikling innenfor ulike typer klimateknologi og imperfeksjonene i teknologiutviklingen ikke blir tatt hensyn til ved en separat teknologipolitikk? I empirisk baserte globale modellanalyser viser Nordhaus (2002), Popp (2004) og Gerlagh (2008) at den optimale klimapolitikken påvirkes av endogen teknologisk utvikling, men resultatene spriker når det gjelder hvor store effektene er. Resultatene avhenger blant annet av hvordan teknologiutviklingen er modellert og hvordan den samspiller med resten av økonomien.<sup>7</sup> Nordhaus (2002) og Popp (2004) finner begge at endogen teknologisk utvikling har lite å si for utviklingen i den optimale CO<sub>2</sub>-avgiften, mens Gerlagh (2008) finner at for en gitt utslippsrestriksjon er den nest-best optimale CO<sub>2</sub>-avgiften halvert sammenliknet med en situasjon uten endogen utvikling av klimateknologi.

Golombek og Hoel (2006) fokuserer på hvordan globale klimaavtaler bør utformes for bedre å ta hensyn til teknologisk utvikling på klimafeltet og det faktum at markedene for slik teknologi er globale og imperfekte. Dersom en begrenser avtalene til å omfatte utslippsreduksjoner, viser Golombek og Hoel (2006) at prisen på utslipp må settes høyere for å kompensere noe for at land ikke tar hensyn til de positive teknologioverføringseksternalitetene som finnes mellom land. Dette tilsvarer resultater fra tidligere studier av lukkede systemer. Rosendahl (2004) finner at manglende subsidiering av eksterne læringseffekter og underinvestering i FoU i klimateknologi bør veies opp for ved en pris på CO<sub>2</sub>-utslipp som er høyere enn det som følger av miljøeksternaliteten (Pigou-skatten). Dette resultatet finner også Gerlagh mfl. (2008), når de innfører begrenset levetid på patenter.

CO<sub>2</sub>-avgiften skal også differensieres etter graden av læringseffekt i den enkelte teknologien, og CO<sub>2</sub>-avgiften skal være størst der hvor den eksterne læringseffekter er størst; Rosendahl (2004). Når det både foregår generell teknologisk utvikling og utvikling i miljøteknologi parallelt, skal CO<sub>2</sub>-avgiften være større enn Pigou-

<sup>7</sup> Modelleringen av teknologiutviklingen i Nordhaus (2002), Popp (2004) og Gerlagh (2008) er mangelfull og preget av flere ad hoc antakelser. Spesielt antas det at forholdet mellom samfunnsøkonomisk og privatøkonomisk avkastningen av kunnskapsspillovers er eksogent gitt.

skatten i en transisjonsperiode hvis kunnskapsspilloveren er større i utviklingen av miljøteknologi enn i generell teknologiutvikling, Hart (2008). I en modell hvor landene er eksplisitt modellert, viser Golombek and Hoel (2008) at korrigeringsene som må til i utslippsprisen vil variere mellom land. Dette betyr igjen at i et utslippskvoteregime bør det ikke åpnes for kvotehandel over landegrensene.

Selv om det er kontrollproblemer knyttet til å pålegge land å støtte teknologisk utvikling og -spredning, er det verdt å vurdere om en ufullkommen internasjonal avtale om slike tiltak er bedre enn ingen. Barrett (2003) tar til orde for internasjonale avtaleverk om teknologisamarbeid. Han argumenterer for at det under noen betingelser kan gi sterkere incentiver til deltakelse og mindre problemer med gratispassasjerer enn utslippsavtaler. Det er imidlertid mange problemer knyttet til konkret utforming for at slike avtaler skal ha effekt. Jaffe mfl. (2005) ser behovet for en politikk rettet mot utvikling av klimateknologier når prisingen av klimagassutslipp er mangelfull og dermed ikke genererer den nødvendige etterspørselen etter mer klimavennlige teknologier. De advarer imidlertid mot å plukke vinnere innenfor ulike teknologifelter; det kan bli svært kostbart i samfunnsøkonomisk forstand. Buchner og Carraro (2005) påpeker at teknologiavtaler ikke kan eksistere alene uten utslippstak. For det første vil det i altfor liten grad stimulere til teknologisk utvikling på klimafeltet dersom etterspørselssiden ikke stimuleres gjennom at utslipp prises tilstrekkelig. For det andre vil mangel på utslippstak innebære at mye av utslippsreduksjonen innenfor hver teknologi spises opp av oppskalering i produksjon og forbruk ettersom produktiviteten øker.

## 4.2. Norsk perspektiv

### **En effektiv klima- og teknologipolitikk i et lite, åpent land (først-best)**

Et lite, åpent land må ta det internasjonale regimet for å begrense globale utslipp og rammeverket som gjelder for teknologipolitikk som gitt. Målene om reduksjoner i klimagassutslippene følger av byrdene landet har tatt på seg i internasjonale forhandlinger. I Klimaforliket har Storting og Regjering påtatt seg å gå lenger enn de har bundet seg til i avtalene. Det vil være fornuftig å benytte de fleksible mekanismene som ligger i avtalene, dersom ressursene skal settes inn på å bidra til så store globale utslippsreduksjoner som mulig. Dersom Norge i tillegg setter seg reduksjonsmål for egne utslipp av klimagasser, slik det ligger an til gjennom klimaforliket, vil det være mest effektivt å benytte en nasjonal pris på utslipp av klimagasser som er lik for alle kilder.

I teknologipolitikken blir hovedforskjellen fra det lukkede tilfellet at det vil være optimalt å rette den nasjonale teknologipolitikken inn mot å internalisere de *innnlandske* eksterne virkningene. Spillovereffektene som går til utlandet skal det derimot ikke korrigeres for, med mindre landet har noen egne målsettinger om dette (se avsnitt 4.2.4). På den annen side vil det være ønskelig for landet å rette politikken inn mot å utnytte overføringseksternalitetene som kommer fra utenlandsk teknologiutvikling best mulig. I kapittel 3 peker vi på flere mekanismer som kan bidra til dette. Blant annet kan stimulering av egen FoU ha effekter på absorpsjonskapasiteten til landet eller sektoren som den enkelte FoU-bedrift ikke tar innover seg. Dette vil tjene som et tilleggsargument for å støtte FoU.

Også på nasjonalt nivå vil teknologipolitikk og klimapolitikk være komplementære. Hvis de nasjonale og/eller de internasjonale utslippsbegrensningene strammes til, og den uniforme prisen på utslipp øker, vil også etterspørselen etter miljøteknologiske løsninger øke. Underinvesteringene i klimavennlig FoU øker og dermed øker også den optimale subsidiesatsen til klimateknologiutvikling, Greaker og Rosendahl (2009) og Heggedal og Jacobsen (2008).

Det er imidlertid viktig å skille effektene på den optimale subsidien til klimateknologiutvikling av at prisen på CO<sub>2</sub>-utslipp gis et varig konstant skift og av at



den gradvis utvikles. Hvis prisen på CO<sub>2</sub>-utslipp øker over tid, vil den optimale subsidiesatsen være fallende over tid. Det reflekterer at; i) ved læringsprosesser har nye teknologier størst læringspotensial, Kverndokk og Rosendahl (2007), ii) ved FoU-eksternaliteter i form av kunnskapsspillovers (positive, men avtakende) og imperfekt konkurranse i markeder for ny teknologikapital, er graden av underinvestering i miljøteknologi størst i begynnelsen av perioden, Heggedal og Jacobsen (2008). Det gjelder også hvis patentene har begrenset levetid, dersom prisen på CO<sub>2</sub>-utslipp øker over tid (Gerlagh mfl., 2008).

I tilfellet med innelåsningseffekter (nettverkseksternaliteter) innenfor transportmarkedet viser Greaker og Heggedal (2007) at det er svært vanskelig å avgjøre hvorvidt det er innelåsningseffekter i bensin/diesel teknologi. Gitt dagens kostnader forbundet med alternative transportteknologier (hydrogen/elektrisk), er det antagelig ingen grunn til selektiv subsidiering av implementering av denne teknologien i transportsektoren.

En først-best utforming av teknologipolitikken med sikte på å korrigere for markedssvikt, vil kreve detaljert informasjon om størrelsen på slike effektivitetskiller. I følge den empiriske litteraturen som søker å identifisere imperfeksjoner i markeder for teknologiutvikling, spriker estimatene for graden av imperfeksjoner og tilhørende spillover effekter sterkt. Det finnes heller p.t. ingen empiriske analyser som søker å tallfeste slike imperfeksjoner i markeder for utvikling av miljøteknologier, og som da eventuelt kan støtte opp under om subsidiering av miljøteknologiutvikling skal være større eller mindre enn støtte til mer generell teknologiutvikling, (Popp, 2006). Mangel på gode metoder for å anslå markedsimperfeksjonene på noen detaljert måte, taler for å bruke uniforme støttesatser for all FoU, klimarelevant som annen.

I en studie av innretningen av teknologipolitikk for et lite, åpent land som Norge, hvor teknologieksternalitetene er antatt å være like sterke for både generell teknologisk utvikling som for utvikling av klimateknologi, Bye og Jacobsen (2009), er det positivt for den samfunnsøkonomiske effektiviteten å reallokere mer av FoU-støtten til generell FoU. På den annen side er det negativt for effektiviteten å reallokere mer av FoU-støtten til FoU i klimateknologi. En av årsakene til dette er at generell teknologiutvikling påvirker produktiviteten i alle sektorer i økonomien, mens miljøteknologien gir et snevrere bidrag til produktivitetsveksten fordi den kun går via energimarkedet. Velferdsgapet mellom de to politikkalternativene reduseres imidlertid hvis CO<sub>2</sub>-avgiften øker, bl.a. som følge av at underinvesteringene i miljøteknologi øker med CO<sub>2</sub>-avgiften.

### **En kategorisering av argumenter for nasjonal teknologipolitikk**

Argumentene som ble utledet i avsnitt 3 og 4.2.1 for å stimulere til teknologiutvikling, og virkemiddelanbefalingene som gis, vil kunne tjene som tommelfingerregler for nasjonale myndigheter. Imidlertid vil virkemiddelvalgene være vanskeligere enn i denne idealsituasjonen. I mer realistiske politiske omgivelser kan stimulans til teknologiutvikling og -spredning få andre effekter som enten kan styrke eller svekke berettigelsen av å føre en slik politikk. Dette vil skje i et samspill mellom ulike trekk ved økonomien og den økonomiske politikken i det enkelte landet, og det er vanskeligere å trekke generaliserbare konklusjoner.

Vi identifiserer fire hovedgrupper av argumenter for offentlig politikk rettet mot teknologiutvikling og -spredning:

- I. Markedsimperfeksjoner knyttet til FoU og innovasjon
- II. Markedsimperfeksjoner knyttet til teknologispredning
- III. Teknologipolitikk som nest-beste virkemiddel for økt effektivitet på andre områder
- IV. Teknologipolitikk som virkemiddel overfor andre målsettinger

De to første gruppene har vi vært grundig inne på i kapittel 3 og tidligere i kapittel 4. I de neste avsnittene vil vi diskutere og eksemplifisere de to siste gruppene av argumenter.

### **Teknologipolitikk som nest-beste virkemiddel for økt effektivitet på andre områder (kategori III)**

Denne gruppen av argumenter tar utgangspunkt i at politikken rettet mot teknologiutvikling kan øke effektiviteten på andre områder enn i selve FoU-virksomheten. Når ineffektiviteter skal motvirkes, vil den beste politikken være å bruke virkemidler som går direkte på det markedet man ønsker å forbedre. Det kan imidlertid være grunner til at dette ikke gjøres i praksis, i hvert fall ikke i optimalt omfang. Da kan stimulering av teknologiutvikling i visse tilfeller tjene som en substitutt for de virkemidlene som man ikke har eller ikke setter i verk – som et nest-beste (tredje- eller fjerde-beste, etc.) politikkvirkemiddel. Vi ser på tre typer situasjoner hvor de beste virkemidlene ikke er tilgjengelige eller av ulike grunner blir brukt i utilstrekkelig grad:

- Mangelfull prising av utslipp
- Mangelfull politikk overfor imperfeksjoner i FoU-nære markeder
- Mangelfull politikk overfor andre imperfeksjoner

#### ***Mangelfull prising av utslipp internasjonalt***

Dagens globale utslippsmål blir ikke møtt med effektiv prising av klimagassutslipp. De er dessuten ikke ambisiøse og langsiktige nok i lys av de store, vedvarende klimaeffektene utslipp har; se for eksempel Stern (2006). I en slik situasjon kan det argumenteres for at den nasjonale politikken rettet mot utvikling av klimateknologi må styrkes for å kompensere for manglende drivkraft fra etterspørselssiden.

Det finnes få studier som eksplisitt reiser spørsmålet om teknologipolitikk kan kompensere for manglende prising av utslipp. *Nasjonal* teknologipolitikk for å oppnå globale klimagassutslipp vil i beste fall kunne ha svært små effekter på globale utslipp og er derfor ikke egnet som virkemiddel mot klimaendringene. Det finnes hittil ingen studier av *internasjonal* teknologipolitikk som nest-beste virkemiddel for å nå globale utslippsmål. Studiene har konsentrert seg om hvordan global utslippsprising kan kompensere for manglende tiltak rettet mot internasjonal teknologiutvikling, ikke motsatt. Årsaken er nok at det på den internasjonale arena har vært ansett som mer gjennomførbart og kontrollerbart å legge utslippsbeskrankninger på deltakerlandene enn å kontrollere og håndheve det enkelte lands tiltak rettet mot teknologiutvikling og -spredning til gagn for det internasjonale samfunnet. På nasjonalt nivå kan situasjonen være noe annerledes. Det finnes mange teknologipolitiske instrumenter for nasjonale myndigheter. Dersom landet har innenlandske klimamål, kan det være et politisk press i retning av støtteordninger fremfor utslippsprising, både fra utslippere som vil ha økonomisk fordel av det og fra nasjonale miljøpressgrupper som kan se det som mer politisk gjennomførbart. Egne klimamål kan ikke sies å være motivert av effektivitets-hensyn. Vi behandler dette målet under avsnitt 4.2.4 om andre målsettinger enn effektivitet.

#### ***Mangelfull politikk overfor imperfeksjoner i FoU-nære markeder***

FoU og innovasjon i næringslivet, som i dominerende grad gjøres for å forbedre produktiviteten til prosesser eller kvaliteter til produkter, skjer i et nært, dynamisk samspill med andre aktiviteter i samfunnet. I prosessene som fører til produktivitetsvekst spiller utdanningsinstitusjonenes aktiviteter en stor rolle ved å blant annet påvirke tilgangen på forskerrekutter, deres spesialisering og kompetansenivå. Forskningen på universiteter og høyskoler står for nesten all grunnforskningen i Norge og også storparten av den anvendte forskningen. Kvalitet og omfang på forskningen som skjer utenfor næringslivet, og hva slags utvekslingskanaler som finnes så vel innenlands som mellom land, er avgjørende for den teknologiske utviklingen som foregår i næringslivet. Langt på vei vil grunn-

forskning og forskerutdanning være fellesgoder som det offentlige har et ansvar for å fremskaffe. Dersom satsingen på grunnforskning og forskerutdanning er for lav i samfunnsøkonomisk forstand, vil de beste virkemidlene for å tilby riktig kvalitet og omfang ligge i organiseringen av universitets- og høyskolesektoren og dens relasjoner utad. Er det hindringer i veien for slike tiltak, kan FoU-støtte i noe grad kompensere for begrensningene manglende investeringer i utdannings- og grunnforskningsaktivitetene betyr for næringslivets innovasjon. Kanskje kan det til og med virke direkte til å øke forskerrekutteringen og/eller tilfanget av teoretisk kunnskap.

Funksjonen til kreditt-, aksje- og forsikringsmarkedene er også avgjørende for teknologiutvikling. FoU-investeringer er langsiktige og risikofylte. Selv om risikoen ved et enkelt prosjekt er høy, vil en portefølje av FoU-prosjekter gi mindre risiko; fiasko i det ene kan motsvares av suksess i et annet. For risikoavlastning kan innovatører henvende seg til eksterne aksjonærer, kredittinstitusjoner eller forsikringsselskap, som kan spre risikoen på flere prosjekter. Årsaker til at markedene for risikospredning ved FoU kan være mangelfulle drøftes blant annet i NOU (2000). Et spesielt problem ved FoU-investeringer er imidlertid at human kapitalen ikke kan pantsettes, noe som gjør dem mindre attraktive enn andre typer investeringsprosjekter. Det kan dessuten være problemer med asymmetrisk informasjon og ugunstig utvalg. Innovatøren kan være uvillig til å dele en del av informasjonen om prosjektet for å beskytte idéene sine. Det er også vanskelig for ev. investorer å avsløre den faktiske kompetansen og innsatsen til innovatøren, når det er såpass stor usikkerhet mellom sammenhengen mellom innsats og resultater. I et lite land som Norge finnes det få private finansieringsselskaper som spesialiserer seg på slike langsiktige og særlig usikre prosjekter. Dersom de allerede etablerte offentlige kreditt- og forsikringsordningene ikke strekker til, vil én av flere nestbeste løsninger kunne være å støtte FoU-prosjektene med rene tilskudd. I tillegg til usikkerheten knyttet til FoU-prosjekter generelt, kan det også være samspill mellom denne usikkerheten og usikkerheten knyttet til framtidige klimakostnader (herunder også sannsynligheten for at en klimakatastrofe skal inntreffe). Om det vil være behov for noen offentlige politikkinngrep på dette feltet avhenger av om usikkerheten er ulik for henholdsvis de private aktørene og det offentlige. Baker og Shittu (2008) gir en oversikt over litteraturen på dette feltet. Denne har hittil begrenset seg til å studere effektene av ulike typer usikkerhet for den private investoren, og spesifiserer dermed ingen imperfeksjoner for den private aktøren som skulle tilsi offentlige inngrep. Generelt ved valg under usikkerhet gjelder at investeringene bør spres på flere prosjekter.

### ***Mangelfull politikk overfor andre imperfeksjoner***

I prinsippet kan virkemidler overfor teknologiutvikling påvirke svært mange andre aktiviteter i samfunnet mer eller mindre direkte. I en sammensatt økonomi vil mange markeder være ufullkomne eller regulert på måter som vrir ressursene på uønskede måter fra et effektivitetssynspunkt. Innovasjonsstøtte kan i noen tilfeller ha gunstige effekter i slike markeder.

I litteraturen finnes eksempler på at innovasjonsstimulans kan bidra til å oppnå et samfunnsøkonomisk riktigere nivå på næringers produksjon, særlig rettet mot eksportmarkedene. Det er trukket frem ulike argumenter for at eksportvirksomheten i næringer kan bli for lav. *Infant industry*-argumentet begrunner produksjons- eller skjermingsstøtte til bedrifter i oppstartingsfasen med at det er etableringshindringer i markedene som må overvinnes før sektoren oppnår et langsiktig, levedyktig produktivitetsnivå eller sågar en egendynamikk i produktiviteten. Dette kan skyldes læringseksternaliteter eller informasjonsbarrierer hos konsumenter eller i kredittmarkedet (Grossmann og Horn, 1988; Flam og Staiger, 1991).

Den såkalte nye handelsteorien som blomstret på 1990-tallet, viste at skjermingsstøtte kan være effektiv politikk for landet, dersom dets konkurranseutsatte bedrifter deltar i strategiske, oligopolistiske spill med andre lands bedrifter

(Brander og Spencer, 1985). For et lite land som Norge er dette sjelden tilfellet, men det kan være relevant innenfor snevre eller umodne markeder hvor norske bedrifter deltar. Monopolistisk konkurranse og stordriftsfordeler kan også gi argumenter for å støtte egen konkurranseutsatt virksomhet, ved at beskyttelse kan øke tilfanget av varianter i hjemmemarkedene, eller gi bedre utnyttelse av stordriftsfordeler. Litteraturen har påvist at selv om proteksjonisme kan øke effektiviteten i økonomien under spesielle omstendigheter, så er dette ikke generelle resultater (Hertel, 1994). I tilfeller hvor næringspolitikk overfor konkurranseutsatte sektorer har en begrunnelse i mer effektiv utnyttelse av landets ressurser, vil de mest effektive instrumentene være direkte næringsstøtte eller handelsinngrep. Siden strategisk politikk vanligvis gir et dårligere utkomme for konkurrentene og verden som helhet, er slike instrumenter strengt regulert innenfor WTO-systemet og i EØS-samarbeidet. Dersom landet skal oppnå slike vridninger, er det få virkemidler igjen. Ulike former for FoU-støtte kan være tilgjengelige nest-beste instrumenter for strategisk næringspolitikk.

Innenfor en numerisk strategisk handelsmodell med et lite land (Norge) og et stort (EU) finner Greaker og Rosendahl (2009) blant annet at støtte til norsk teknologiutvikling vil kunne ha en liten, men positiv effekt på markedsandelen til norsk teknologiproduksjon. Denne effekten øker også med strengere norsk CO<sub>2</sub>-politikk, dvs. CO<sub>2</sub>-politikk er komplementær med teknologiutviklingsstøtte, selv om unilateral CO<sub>2</sub>-politikk får svært lite å si. Å bare stramme til den norske CO<sub>2</sub> politikken uten samtidig utviklingsstøtte, vil imidlertid ikke ha noen handelsstrategisk velferdseffekt. I et internasjonalt marked for klimateknologier vil en slik politikk virke like stimulerende på de utenlandske konkurrentene.

#### **Teknologipolitikk som virkemiddel overfor andre målsettinger (kategori IV)**

Denne gruppen av argumenter er basert på at myndigheter vil ha en rekke andre mål enn innenlandsk effektivitet på sin agenda. Noen er klart teknologiske. For eksempel vil enkelte lands mål innenfor militær opprustning, romfart og lignende nødvendigvis innebære storstilt satsing på teknologi. Også i mindre land som Norge er det aktuelt med teknologiske målsettinger som ikke nødvendigvis faller sammen med optimale nivåer i den forstand vi hittil har sett på, dvs. de nivåene som sikrer samfunnsøkonomisk effektivitet i snever forstand. Eksempler er politisk erklærte måltall for utvikling eller bruk av teknologi. I Stortingsmelding 20 (2004-2005) "Vilje til forskning" uttrykker den norske regjering konkrete mål om FoU-intensiteten både nasjonalt og i næringslivet. Stortingsmelding 30 (2008-2009) "Klima for forskning" spesifiserer nærmere hvilke områder forskningspolitikken skal rette seg mot. Nylig har EU vedtatt det såkalte *fornybardirektivet*. Norske myndigheter vil om ikke lenge gå inn i forhandlinger om hvordan vi kan og vil knytte oss til et slikt direktiv. Fornybardirektivet setter klare nasjonale og overnasjonale måltall for andeler fornybar energi i forbruk og produksjon. Et ytterligere eksempel vil være dersom landet setter egne mål om spredning av utslippsvennlige teknologier til utviklingsland. Alle disse nasjonale målsettingene er knyttet til teknologiutvikling og -spredning og vil mest effektivt kunne møtes med teknologiske virkemidler.

Selv når målsettingene ikke er klart teknologiske, kan teknologipolitikk være et aktuelt virkemiddel for å bidra til oppnåelse, dersom de mest målrettede virkemidlene av ulike årsaker ikke er praktisk gjennomførbare. Ett eksempel er når en har satt seg innenlandske mål om klimautslippsreduksjoner. Dersom uniform utslippsprising ikke er et tilgjengelig virkemiddel, eller dersom det i praksis er mange uunngåelige markedsimperfeksjoner og priskiler i økonomien, er det ikke opplagt hva som er best mulig politikk og i hvilken grad myndighetene bør ty til teknologiincentiver. Dette tilsvarer resonnementene i avsnitt 4.1.2 og 4.2.3.1 hvor nest-best teknologipolitikk i henholdsvis en global og en nasjonal kontekst diskuteres. I en CGE-analyse ser Otto mfl. (2008) på ulike pakker av nasjonale nest-best systemer bestående av CO<sub>2</sub>-avgifter, FoU-støtte og implementeringsstøtte

til ny teknologi. De finner at en kombinasjon av differensiert CO<sub>2</sub>-avgift, og differensiert FoU- og implementeringsstøtte gir høyest velferd. Det er imidlertid en svakhet med analysen at reformene ikke er sammenliknbare mht. offentlige provenyeffekter. De velferdsmessige konklusjonene fra analysen er derfor ikke nødvendigvis gyldige, noe som gjør det vanskelig å konkludere om hvorvidt teknologipolitikk er et egnet virkemiddel hvis det er mangelfull nasjonal prising av klimagassutslipp.

Myndighetene kan sette seg mer detaljerte mål om utslippsreduksjoner for eksempel innenfor enkeltsektorer, enkeltkommuner eller lignende. Mest effektivt nås slike mål i regelen med uniform utslippspris innenfor den enheten man har mål om. Men som for landet (eller verden) som helhet, vil mangel eller utilstrekkelig bruk av slik prising i noe grad kunne kompenseres med politikk rettet mot teknologiutvikling og -spredning.

Den norsk klimapolitikken og virkemidlene som nyttes har ikke bare nasjonale målsettinger. Det blir for snevert å ikke ta hensyn til hvordan virkemidlene påvirker globale utslipp. En nasjonal prising av utslipp i konkurranseutsatte sektorer kan for eksempel føre til utslippslekkasjer til utlandet gjennom handel eller flytting av bedrifter. Det mest direkte virkemidlet mot utslippslekkasjer vil være ulike former for handelsreguleringer, men slike inngrep er gjenstand for streng internasjonal lovgivning. Et annet alternativ kan være å subsidiere teknologiomlegginger i disse næringene. Studier viser at potensialet for utslippslekkasjer som følge av innenlandske utslippspriser er små for Norges vedkommende. Effektene varierer imidlertid med næringer, og kraftkrevende industri i Norge er mer utsatt enn andre; Bruvoll og Fæhn (2006).

Samspillet mellom nasjonale og globale måloppnåelser er komplisert. Alle utspill fra enkeltland tjener som signaler inn i forhandlingsprosessene som pågår. Alle utspill, nasjonale vedtak og tiltak kan påvirke disse prosessene og dermed sjansen til å oppnå egne, globale ambisjoner. I debatten er myndighetenes teknologisatsing også vurdert i et slik lys. Unilaterale reduksjoner av utslipp og målsettinger om fremtidige reduksjoner i et land kan svekke motivasjonen for internasjonale forpliktende avtaler. Dersom ett eller flere land reduserer sine utslipp i forkant av internasjonale forhandlinger, vil andre land ha reduserte insentiver til å redusere sine utslipp. Dermed kan forhandlingene resultere i lavere utslippsreduksjoner (Hoel, 1991). Lignende argumenter vil gjelde for unilateral teknologisatsing. Buchholz og Konrad (1994) argumenterer for at det ikke vil være en god strategi for innflytelsesrike forhandlingspartnere å investere i internasjonal spredning av klimateknologier før en går inn i forhandlinger om internasjonale, forpliktende avtaler. Grunnen er at det reduserer kostnadene forbundet med videre utslippsreduksjoner, slik at andre land vil forvente relativt store utslippsreduksjoner som landets mest troverdige strategi. Dermed vil de andre landene redusere utslippene mindre. Ut fra samme argumentasjon finner Stranlund (1994) at det kan lønne seg for land med avanserte klimateknologier å dele disse med andre land. Når andre land får reduserte kostnader med å redusere utslipp, vil disse landene ha svakere argumenter for å redusere sine utslipp lite. Greaker og Hagem (2009) ser på offentlig støtte til teknologiutvikling fremfor teknologiimplementering. Dersom teknologien kan overføres til andre land, vil det kunne redusere andre lands kostnader forbundet med reduksjoner av utslipp. Dermed vil det være mulighet for at andre land godtar større utslippsrestriksjoner i senere forhandlinger. Videre argumenterer Barrett (2003) for at subsidiert teknologisamarbeid mellom noen land vil kunne ha nettverkseksternaliteter eller styrke kunnskapseksternalitetene dem i mellom. Dersom disse blir sterke og synlige nok, kan det stimulere til at flere land deltar og tar på seg forpliktelser. Om teknologipolitikk i enkelte regioner vil kunne bidra til å motivere verdenssamfunnet til tiltak og forpliktende avtaler er altså et åpent spørsmål i den internasjonale litteraturen, og det vil generelt avhenge av utformingen av politikken. For små land som Norge vil effektene på forhandlingssituasjonen imidlertid være små.

Fordelingsmål kan ligge mer eller mindre eksplisitt til grunn for offentlige tiltak for utslippsreducerende teknologiendringer. Fra et fordelingssynspunkt kan støttepolitikk fremstå som gunstig, dersom det er ønske om å opprettholde aktiviteten i enkelte sektorer eller regioner. I avveiningen mellom effektivitets- og fordelingsmål kan teknologistøtte fremstå som et kompromiss. Det vil kunne bidra til utslippsreduksjoner, samtidig som en kan nå fordelingspolitiske mål om å stimulere deler av aktiviteten i sektoren/regionen. Den beste politikken er å nytte direkte virkemidler overfor så vel effektivitetsmålet (utslippsreduksjoner) og fordelingsmålet (støtte til aktiviteten). Det første nås best gjennom (internasjonal) utslippsprising, det andre gjennom direkte støtte til produksjon, bosetting el. Imidlertid er politikk rettet mot nærings- og distriktsfordeling forholdsvis strengt regulert av internasjonale handelsavtaler. FoU-politikk er ett lovlig virkemiddel, men ikke det eneste myndighetene kan bruke for oppnå den fordelingen myndighetene ønsker. Investeringer i infrastruktur, distriktslokalisering av offentlig virksomhet og bosettingstiltak er andre nærliggende eksempler.

## 5. Konklusjoner og avsluttende merknader

I klimapolitikken, som i all annen politikk, bør myndighetene bruke de mest effektive virkemidlene for å oppnå målsettingene. Ideelt sett skal det benyttes et virkemiddel for hvert mål. Hovedmålet med klimapolitikken er å redusere utslippene av klimagasser. Det mest effektive virkemiddelet for å nå målet om reduserte utslipp er å sette en pris på utslippene av klimagasser, i form av en avgift eller en kvotepris. Utslipp av klimagasser skaper et globalt miljøproblem, og ideelt sett bør utslippene reguleres av internasjonale avtaler som innebærer pricing av utslipp internasjonalt. Hvis det foreligger målsettinger om ytterligere innenlandske utslippsrestriksjoner, vil den beste politikken være å pålegge alle nasjonale utslippskilder for klimagasser en lik pris på utslipp tilsvarende det nivået som skal til for å nå målsettingen om innenlandske utslippsreduksjoner. En pris på utslipp vil stimulere etterspørselen etter mer utslippsvennlige teknologier og bidra til teknologiutvikling på feltet.

I hvilken grad det skal innføres egne virkemidler for å stimulere til utvikling og spredning av klimateknologier, avhenger av om det er markedsimperfeksjoner i markedene for slike teknologier som fører til at det blir produsert for lite av slike teknologier i forhold til det som er samfunnsøkonomisk lønnsomt.

Når det gjelder teknologiutvikling er det forholdsvis bred enighet i litteraturen om at markedsimperfeksjoner fører til at den samfunnsøkonomiske avkastningen av slike investeringer er høyere enn den privatøkonomiske avkastningen. Et eksempel på slike imperfeksjoner kan være positive kunnskapsspillover i teknologiutviklingen, som taler for å subsidiere FoU og innovasjon.

Det offentlige skal støtte teknologiutvikling etter størrelsen på eksternalitetene. Dette behøver ikke sammenfalle med "vinnerne", i betydningen prosjekter som med størst mulig sannsynlighet får forretningsmessig suksess. Dette vil derimot være næringslivets utvalgsriterium for prosjekter. Det er vanskelig å tallfeste FoU-eksternaliteter og dermed riktig nivå på subsidien. Det finnes ingen studier som viser at gapet mellom privatøkonomisk og samfunnsøkonomisk avkastning er større eller mindre for investeringer i klimateknologi enn for investeringer i andre typer teknologier. Støtte til utvikling av klimateknologi skal derfor utformes tilsvarende som støtte til andre typer teknologiutvikling. Det skal ikke differensieres mellom ulike teknologier, med mindre det er klart at eksternalitetene er ulike. Mangel på detaljert informasjon om størrelsen på slike effektivitetsskiler gjør at vi anbefaler uniforme støttesatser for all FoU, klimarelevant som annen. Skattefunnordningen er en slik ordning. Den behandler all FoU-innsats under en visst beløp likt. Begrunnelsen for et tak er at jo større FoU-virksomheten i et foretak er, jo mer av kunnskapsspilloveren vil være internalisert, dvs. falle på egen FoU.

Det kan også være effektivitetsargumenter for å stimulere til teknologispredning. Et eksempel på dette er når det er eksterne læringseffekter av at teknologien spres. Et annet eksempel er ved nettverksekssternaliteter. Det er imidlertid viktig å påpeke at imperfeksjoner i spredningsmarkedene gjerne er teknologispesifikke og at vi ofte har mer informasjon om dem siden teknologiene allerede er kjente. Det er også vanlig at imperfeksjonene vil avta etter hvert som teknologiene tas i bruk. Støtte til spredning av teknologier bør i så fall fases ut i takt med at markedsimperfeksjonene reduseres. Investeringer i evne til å absorbere kunnskap fra utlandet kan også være verdt å støtte, dersom gevinstene også kommer andre innenlandske aktører til gode enn dem som investerer i absorpsjonskapasiteten (i form av handel, FoU, høyt utdannet arbeidskraft eller annet).

Det er stor grad av avhengighet mellom utslippspris og teknologieksternaliteter, og dermed komplementaritet mellom utslippspolitikk og politikk rettet mot utvikling av klimateknologi. Støtte til utvikling av klimateknologi blir samfunnsøkonomisk mer lønnsomt jo høyere prisen på utslipp er.

Prisen på utslipp kan brukes som et virkemiddel for å oppnå teknologiutvikling hvis ikke det er mulig å implementere direkte støtte til teknologiutviklingen. Generelt skal utslippsprisen da være høyere enn det optimale nivået for utslippsrestriksjonen. På nasjonalt nivå vil det imidlertid være flere virkemidler tilgjengelige for å støtte teknologiutvikling og mindre behov for prising av klimagassutslipp som et nest-beste instrument for å nå teknologimålsettinger.

Prisen på klimagassutslipp er ikke lik mellom ulike utslippskilder verken i internasjonale systemer eller i det norske avgiftssystemet i dag. Dersom Norge setter seg innenlandske utslippsmål, bør det tilstrebes å gjøre utslippsprisen lik i alle sektorer/regioner. Det finnes svært lite forskning på hvor mye det vil koste å heller bruke teknologiutviklingsstøtte eller teknologiimplementeringsstøtte som substitutt for å uniformere utslippsprisen.

Ved vurderinger av virkemidler bør også skattefinansieringskostnaden ved subsidieordninger og andre støtteordninger vurderes. Det offentlige får i det vesentlige sine inntekter fra vridende skatter og avgifter som gir et samfunnsøkonomisk effektivitetstap, bortsett fra i de tilfellene hvor skattene og avgiftene korrigerer for negative eksternaliteter og markedsimperfeksjoner. Direkte støtte og subsidier kan altså gi et samfunnsøkonomisk effektivitetstap ved måten de er finansiert på.



## Referanser

- Aghion, P. and P. Howitt (1992): A model of economic growth through creative destruction, *Econometrica* 60, 323-351.
- Alvarez R. and R. Lopez (2006): Is Exporting a Source of Productivity Spillovers, *Working papers Center for Applied Economics and Policy Research Indiana 2006/012*.
- Baker, E. and E. Shittu (2008): Uncertainty and endogenous technical change in climate policy models, *Energy Economics* 30, 2817-2828.
- Baldwin, J., and W. Gu (2003): Export market participation and productivity performance in Canadian manufacturing. *Canadian Journal of Economics*, 36, 634-657.
- Barrett, S. (2003): *Environment & Statecraft. The Strategy of Environmental Treaty-Making*. Oxford University Press.
- Bernard, A. B. and J. B. Jensen (2004): Why some firms export, *The Review of Economics and Statistics*, 86/2, 561-569.
- Brander, J. and B. Spencer (1985): Export subsidies and international market share rivalry, *Journal of International Economics* 18, 83-100.
- Bruvoll, A. and T. Fæhn (2006): Transboundary effects of environmental policy: Markets and emission leakages, *Ecological Economics* 59/4, 499-510.
- Buchholz, W. and K. A. Konrad (1994): Global Environmental Problems and the Strategic Choice of Technology. *Journal of Economics* 60: 299-321.
- Buchner, B. and C. Carraro (2005): Economic and environmental effectiveness of a technology-based climate protocol, *Climate Policy* 4, 229-248.
- Bye, B., T. Fæhn, and L. A. Grünfeld (2008): Growth policy in a small, open economy. Domestic innovation and learning from abroad, *Discussion Paper 572*, Statistics Norway.
- Bye, B. and K. Jacobsen (2009): On general versus emission saving R&D support, *Discussion Paper 584*, Statistics Norway.
- Coe, D.T. and E. Helpman (1995): International R&D spillovers, *European Economic Review*, 39, 859-887.
- Cohen, W. M. and D. A. Levinthal (1989): Innovation and learning: The two faces of R&D, *Economic Journal* 99 (September), 569-596.
- Damijan, J.P., S. Polanec and J. Prasnikar (2004): Self-selection, export market heterogeneity and productivity improvements: Firm-level evidence from Slovenia, LICOS Discussion Papers 148/2004, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- Delgado, M., Farinas, J., and Ruano, S. (2002). Firm productivity and export markets: A non-parametric approach. *Journal of International Economics*, 57, 392-422.
- Diao X, Roe T, and Yeldan E. (1999): Strategic policies and growth: An applied model of R&D-driven endogenous growth. *Journal of Development Economics* 60, 343-380.

- Diao, X., J. Rattsø and H.E. Stokke (2006): Learning by exporting and structural change: A Ramsey growth model of Thailand, *Journal of Policy Modeling* 28, 293-306.
- Dixit, A. og J. E. Stiglitz (1977): Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity. *American Economic Review* 67, 297-308.
- Fischer, C. and R. Newell (2008): Environmental and technology policies for climate mitigation, *Journal of Environmental Economics and Management* 55, 142-162.
- Flam, H. and R.W. Staiger (1991): Adverse Selection in Credit Markets and Infant Industry Protection, *International trade and trade policy*, 96-117, Cambridge and London, MIT Press.
- Frederick, S., G. Loewenstein and T. Donoghue. (2002): Time discounting and Time Preference: A Critical review, *Journal of Economic Literature* 40, 351-401.
- Gerlagh, R., Kverndokk, S., and Rosendahl, K.E. (2008): Linking Environmental and Innovation Policy, *FEEM Working Paper* 211, FEEM.
- Gerlagh, R. (2008): A climate-change policy induced shift from innovations in carbon-energy production to carbon-energy savings, *Energy Economics* 30, 425-448.
- Golombek, R. and Hoel, M. (2006): Second-best climate agreements and technology policy, *Advances in Economic Analysis & Policy* 3 (1) (Article 1).
- Golombek, R. and M. Hoel (2008): Endogenous technology and tradable emission quotas, *Resource and Energy Economics* 30, 197-208.
- Goulder, L.H. and Schneider, S.H. (1999): Induced technological change and the attractiveness of CO<sub>2</sub> abatement policies, *Resource and Energy Economics* 21, 211-253.
- Goulder, L.H. and Mathai, K. (2000): Optimal CO<sub>2</sub> Abatement in the Presence of Induced Technological Change, *Journal of Environmental Economics and Management*, 39, 1-38.
- Greaker, M. and Hagem, C. (2009): Strategic investment in climate friendly technologies: Home or abroad? Work in progress.
- Greaker, M. and T.R. Heggedal (2007): Lock-in and the transition to hydrogen cars: When should governments intervene?, *Discussion Paper 516*, Statistics Norway
- Greaker, M. and Rosendahl, K.E. (2009): Strategic Climate Policy in Small, Open Economies, Discussion Paper 448, Statistics Norway. Forthcoming in *Journal of Environmental Economics and Management*
- Griffith R, Redding S, and van Reenen J. (2004): Mapping the two faces of R&D: productivity growth in a panel of OECD industries, *The Review of Economics and Statistics* 86, 883-895.
- Griliches, Z. (1995): R&D and Productivity: Econometric Results and Measurement Issues. In P. Stoneman (ed.): *Handbook of the Economics of Innovation and Technical Change*, Blackwell, Oxford.

- Grossman, G.M. and H. Horn (1988): Infant-Industry Protection Reconsidered: The Case of Informational Barriers to Entry; *Quarterly Journal of Economics*, 103/4, 767-87.
- Grubler, A. and S. Messner (1998): Technological Change and the Timing of Mitigation Measures *Energy Economics* 20(5-6), 495-512.
- Hart, R. (2008): The timing of taxes on CO<sub>2</sub> emissions when technological change is endogenous, *Journal of Environmental Economics and Management*, 55, 194–212.
- Heggedal, T.R. (2008): On R&D and the undersupply of emerging versus mature technologies, *Discussion Paper 571*, Statistics Norway.
- Heggedal, T.R. and Jacobsen, K. (2008): Timing of innovation policies when carbon emissions are restricted: An applied general equilibrium analysis, *Discussion Paper 536*, Statistics Norway.
- Hertel, T.W. (1994): The 'procompetitive' effects of trade policy reform in a small, open economy. *Journal of International Economics* 36, 391-41.
- Hoel, M. (1991): Global environmental problems: The effects of unilateral actions taken by one country. *Journal of Environmental Economics and Management* 20, 55-70.
- Institutt for Energiteknikk (IFE) (2006): Reduserte klimagassutslipp 2050: teknologiske kiler – innspill til Lavutslippsutvalget, IFE/KR/E – 2006/002.
- International Energy Agency (2008): *World Energy Outlook 2008*, IEA, Paris.
- Jaffe, A.B., Newell, R.G. and Stavins, R.N. (2002): Environmental Policy and Technological Change, *Environmental and Resource Economics* 22, 41-69.
- Jaffe, A.B., Newell, R.G. and Stavins, R.N. (2005): A Tale of Two Market Failures: Technology and Environmental Policy, *Ecological Economics*, 54, 164–174.
- Jones, C. I. and J.C. Williams (1998): Measuring the social returns to R&D, *Quarterly Journal of Economics* 113, 1119-1135.
- Jones, C. I. and J.C. Williams (2000): Too Much of a Good Thing? The Economics of Investment in R&D, *Journal of Economic Growth* 5, 65-85.
- Keller W. (2004): International Technology Diffusion, *Journal of Economic Literature* XLII, 752-782.
- Katz, M.L. and Shapiro, C. (1986): Technology Adoption in the Presence of Network Externalities, *Journal of Political Economy* 94, 822-841.
- Kallbekken, S. (2008): Pigouvian tax schemes: feasibility versus efficiency. PhD thesis, University of Oslo, Department of Economics.
- Kverndokk, S. and Rosendahl, K.E. (2007): Climate policies and learning by doing: Impacts and timing of technology subsidies, *Resource and Energy Economics*, 29, 58–82.
- Löschel, A. (2002): Technological Change in Economic Models of Environmental Policy: A Survey, *Ecological Economics* 43, 105–126

Nordhaus, W.D. (2002): Modeling induced innovation in climate-change policy, in *Technological Change and the Environment*, Narkicenic, N. Grubler, A. and Nordhaus, W.D. (Eds.), Washington, Resources for the Future.

Norges forskningsråd (2007): Årsrapport 2007, SkatteFUNN.

Norges offentlige utredninger (2000): Ny giv for nyskaping: Vurdering av tiltak for økt FoU i næringslivet, NOU 2000:7.

Norges offentlige utredninger (2002): Gassteknologi, miljø og verdiskaping, NOU 2002:7.

Norges offentlige utredninger (2004): Hydrogen som fremtidens energibærer, NOU 2004:11.

Norges offentlige utredninger (2006): Et klimavennlig Norge, NOU 2006:18, Det kongelige finansdepartement.

Norges offentlige utredninger (2007): En vurdering av særavgiftene; NOU 2007: 8, Det kongelige miljøverndepartement.

OECD (2002): Frascati Manual: The Measurement of Scientific and Technological Activities; Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development; OECD Publishing.

OECD (2005): Oslo Manual: The Measurement of Scientific and Technological Activities: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd edition, OECD, EUROSTAT; OECD Publishing.

Otto, V.M., Löschel, A. and Reilly, J. (2008): Directed technical change and differentiation of climate policy, *Energy Economics* 30, 2855-2878.

Popp, D. (2004): ENTICE: endogenous technological change in the DICE model of global warming, *Journal of Environmental Economics and Management* 48, 742-768.

Popp, D. (2006): R&D Subsidies and Climate Policy: Is There a 'Free Lunch'? *Climatic Change*, 77, 311-341.

Pottelsberghe, B. van and F. Lichtenberg (2001): Does Foreign Direct Investment Transfer Technology Across Borders?, *The Review of Economics and Statistics*, 83(3), 490-497.

Rasmussen, T. (2001): CO<sub>2</sub> abatement policy with learning by doing in renewable energy, *Resource and Energy Economics* 23, 297-325.

Romer, P. (1990): Endogenous Technological Change, *Journal of Political Economy* 94, 1002-1037.

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

Russo B. (2004): A cost-benefit analysis of R&D tax incentives. *Canadian Journal of Economics* 37, 313-335.

Saunders, H.D. (2000). A view from the macro side: rebound, backfire and Khazzoom-Brookes. *Energy Policy* 28, 439-449.

Schneider, S.H. and Goulder, L.H. (1997): Achieving low-cost emissions targets, *Nature*, 389, 13–14.

Schumpeter, J. (1942): *Capitalism, Socialism and Democracy*, Harper, New York.

Statens forurensningstilsyn (SFT) (2007): Reduksjon av klimagassutslipp i Norge. En tiltaksanalyse for 2010 og 2020, TA-2121.

Stern, N. (2006): *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Stortingsmelding nr. 20 (2004-2005): *Vilje til forskning*, Det kongelige forsknings- og utdanningsdepartement.

Stortingsmelding nr. 1 (2008-2009): Nasjonalbudsjettet 2009, Det kongelige finansdepartement.

Stortingsmelding nr. 30 (2008-2008): *Klima for forskning*, Det kongelige forsknings- og utdanningsdepartement.

Stranlund, J. K. (1996): On the Strategic Potential of Technological Aid in International Environmental Relations. *Journal of Economics* 64, 1-22.