

KAPITEL II

AFGIFTER KONTRA FORSKNINGSSTØTTE I KLIMAPOLITIKKEN

II.1 Indledning

Klima- og energipolitiske målsætninger

Danmark har forpligtet sig til at reducere udledningen af drivhusgasser frem mod 2020, og der er et ønske om at blive mindre afhængig af fossile brændsler på længere sigt. Det fremføres ofte, at teknologisk udvikling er en vigtig forudsætning for at nå disse målsætninger. For at opnå dette kræves forskning.

Formål

Overordnet er formålet med kapitlet at belyse samspillet og rollefordelingen mellem klimapolitiske og forskningspolitiske virkemidler i forhold til at nå de klimapolitiske mål. Mere specifikt vurderes det, hvorvidt den nuværende politik med særlig stærk støtte til energiforskning er hensigtsmæssig.

Teknologisk udvikling en del af problemet og en del af løsningen

Den teknologiske udvikling kan påvirke udledningen af CO₂ på forskellige måder. På den ene side fører teknologisk udvikling til økonomisk vækst og større velstand, som kan være med til at øge brugen af fossile brændsler. På den anden side kan teknologisk udvikling inden for f.eks. vedvarende energi også være med til at mindske omkostningen ved at blive mindre afhængig af fossile brændsler. Teknologisk udvikling kan således gøre det billigere at nå en given klimamålsætning eller gøre det muligt at opnå mere ambitiøse målsætninger for en given samfundsøkonomisk omkostning. En væsentlig reduktion i brugen af fossile brændsler vil forudsætte teknologiske fremskridt inden for vedvarende energi.

Kapitlet er færdigredigeret den 7. februar 2011.

**Klima- og
forskningspolitiske
instrumenter**

I klimapolitikken anvendes en række instrumenter, som har indflydelse på den teknologiske udvikling, selv om de i første omgang er rettet direkte mod CO₂-udledningen. Det er f.eks. afgifter på CO₂, omsættelige CO₂-kvoter og støtte til produktion af vedvarende energi. Gennem en forøgelse af den relative pris på fossil energi giver dette incitament til at udvikle alternativer til fossile brændsler. En række forskningspolitiske virkemidler påvirker også teknologiudviklingen. Det er f.eks. fordelingen af offentlige midler til grundforskning og til mere målrettet strategisk forskning samt forskellige generelle og øremærkede støtteordninger til forskning udført i private virksomheder.

**Øget støtte til
energiforskning**

Der har i de senere år været en stor drejning i støtten hen mod energiforskning, og der argumenteres fra forskellig side for yderligere stigninger. I mange andre lande ses også øget støtte til energiforskning.

**Udvikle eller købe
ny teknologi?**

Teknologiske fremskridt sker i et samspil med omverdenen. Nye klimavenlige teknologier, som er udviklet i Danmark, vil også kunne anvendes i andre lande, ligesom Danmark ikke nødvendigvis behøver at udvikle teknologi selv, men kan importere ny klimateknologi fra udlandet. Hvis der udvikles ny klimateknologi i Danmark, vil det kunne lede til øget eksport af denne teknologi. På længere sigt er det dog ikke sikkert, at klimateknologi udviklet i Danmark også bliver produceret herhjemme. Udvikling og produktion af ny klimavenlig teknologi sker med andre ord på et globalt marked.

**Mere
erhvervsrettet
forskning?**

Den øgede støtte til energiforskning synes i høj grad at have karakter af erhvervsrettet forskning. Således rettes støtten i øget omfang mod private virksomheder, og der er fokus på at støtte forskning, som har et direkte kommercielt potentiale. Stigningen i støtten synes dermed også at være motiveret ud fra erhvervsøkonomiske hensyn. Kapitlet vil derfor også vurdere, om det er hensigtsmæssigt at kombinere erhvervs politik og klimapolitik.

Sammenhæng mellem kapitel II og kapitel III

Kapitlet skal ses i sammenhæng med kapitel III, som analyserer en omlægning af CO₂- og andre energirelaterede afgifter. Nærværende kapitel fokuserer på rollefordelingen mellem miljø- og forskningspolitik, mens kapitel III i lyset heraf fokuserer på indretningen af CO₂-afgifterne.

Kapitlets opbygning

I det næste afsnit beskrives udviklingen i forskningen i Danmark med særlig fokus på forskningen inden for energi og miljø. I afsnit II.3 gives en oversigt over litteraturen vedrørende samspil og rollefordeling mellem klima- og forskningspolitiske instrumenter. Afsnit II.4 indeholder en beskrivelse af resultaterne fra en empirisk analyse, som sammenligner det samfundsøkonomiske afkast af virksomhedernes energiforskning med afkastet af virksomhedernes øvrige forskning. Sammenfatning og anbefalinger gives i afsnit II.5.

II.2 Udvikling i dansk energi- og miljøforskning

Indhold

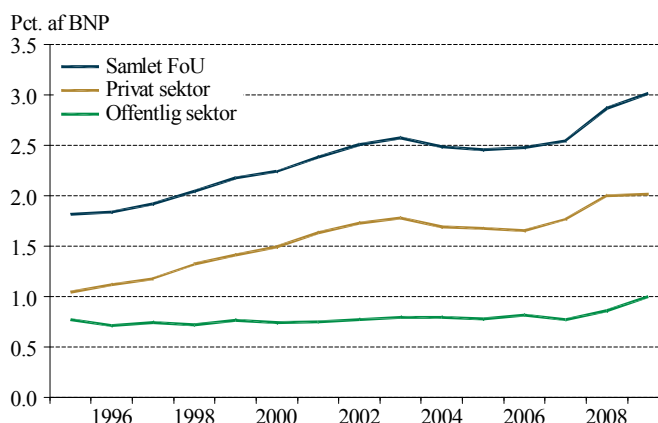
Dette afsnit beskriver den danske forskningsaktivitet siden midten af 1990'erne, med særlig fokus på udviklingen i energi- og miljøforskningen. Der gives en oversigt over den innovative aktivitet i Danmark på energi- og miljøområdet, og afslutningsvis betragtes udviklingen i de danske virksomheders position på det internationale marked for energi- og miljøteknologi.

Udviklingen i dansk og international forskning

EU-målsætning for FoU

I 2002 blev der i EU-regi fastlagt en målsætning om, at de europæiske investeringer i forskning og udvikling (FoU) skulle udgøre mindst 3 pct. af BNP i 2010 – den såkaldte Barcelona-målsætning. I 2009 udgjorde de samlede danske udgifter til FoU 50 mia. kr., hvilket svarede til 3 pct. af BNP. Det er det højeste niveau i perioden 1995 til 2009, jf. figur II.1. Dermed efterlevede Danmark i 2009 den europæiske målsætning.

Figur II.1 FoU-udgifter fordelt på udførende sektor



Anm.: Oplysninger vedrørende 2009 er foreløbige tal.

Kilde: Eurostat.

Privat sektor bidrager mest til stigning i dansk FoU

Stigningen i de danske FoU-udgifter relativt til BNP er navnlig foregået i sidste halvdel af 1990'erne og de første år af 00'erne.¹ Det er primært forskning udført af den private sektor, der har bidraget til væksten. Erhvervslivets FoU er steget fra at udgøre 1 pct. af BNP i 1995 til 2 pct. i 2009. Den offentligt udførte forskning har svaret til omkring 0,8 pct. af BNP i perioden 1995-2007, men er steget til 1 pct. i 2009. Fordelingen af den danske FoU er således i overensstemmelse med den europæiske målsætning om, at en tredjedel af den samlede FoU – svarende til 1 pct. af BNP – skal varetages i offentligt regi, mens den private sektor skal stå for de resterende to tredjedele af den samlede forskning – svarende til 2 pct. af BNP.

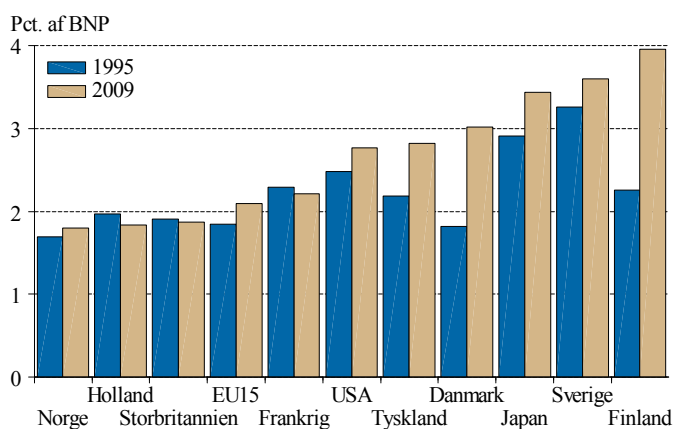
Danske FoU- udgifter højere end EU-gennemsnit

Set i et internationalt perspektiv har den styrkede indsats resulteret i et betydeligt løft af det danske FoU-niveau. Fra at rangere blandt de EU15-lande, der udførte mindst FoU relativt til BNP i midten af 1990'erne, er de danske FoU-udgifter steget til et niveau, der er højere end EU15-gennemsnittet i slutningen af 00'erne, jf. figur II.2. Udgifterne til FoU udgør imidlertid fortsat en væsentligt lavere

1) Den danske beholdning af FoU, den såkaldte videnkapital, er også steget, jf. De Økonomiske Råd (2010).

andel af BNP i Danmark end i Japan, Sverige og Finland. De to sidstnævnte rangerer højest blandt EU-landene.

Figur II.2 FoU-udgifter i udvalgte lande



Anm.: Seneste observation for USA og Japan er henholdsvis 2008 og 2007. Oplysninger for 2009 kan være foreløbige værdier.

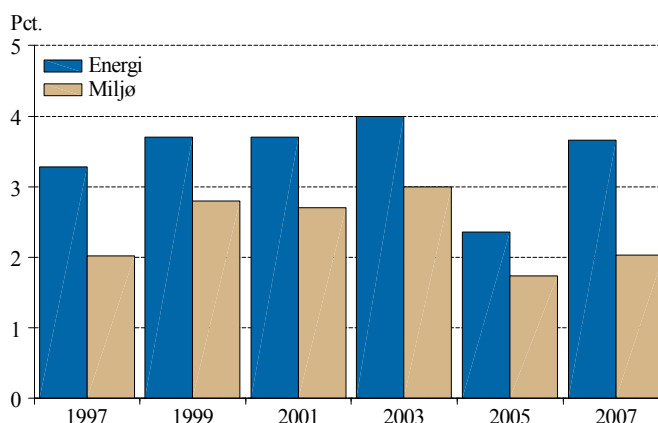
Kilde: Eurostat.

Dansk energi- og miljøforskning

Erhvervslivets energi- og miljøforskning

Da omkring 70 pct. af den danske FoU bliver udført af den private sektor, spiller erhvervslivet en afgørende rolle i opbygningen af viden i det danske samfund. Fra slutningen af 1990'erne og frem til starten af 00'erne steg andelen af energi- og miljøforskning ud af erhvervslivets samlede FoU svagt, jf. figur II.3. Efter et fald i 2005 er andelen igen steget svagt, især for energiforskning. I 2007 udgjorde energi- og miljøforskning henholdsvis 3,7 pct. og 2,0 pct. svarende til henholdsvis 1,2 mia. kr. og 0,7 mia. kr.

Figur II.3 Erhvervslivets energi- og miljøforskning, andel af samlet FoU i erhvervslivet



Anm.: Figuren angiver den private sektors udførte FoU. For årene 1997 og 2007 findes der kun oplysninger om forskningsudgifter, hvorfor forskningsandele i disse år er beregnet. Fordelingen af FoU-udgifter på forskningsområder er baseret på den udførende virksomheds egen vurdering, og der kan være overlap mellem områderne. Grundet databrud er tallene før 2007 ikke direkte sammenlignelige med tal fra 2007.

Kilde: Center for Forskningsanalyse, *Erhvervsstatistikken* (årene 1997-2005), Eurostat (året 2007) og egne beregninger.

Øgede offentlige bevillinger til grøn FoU i Danmark

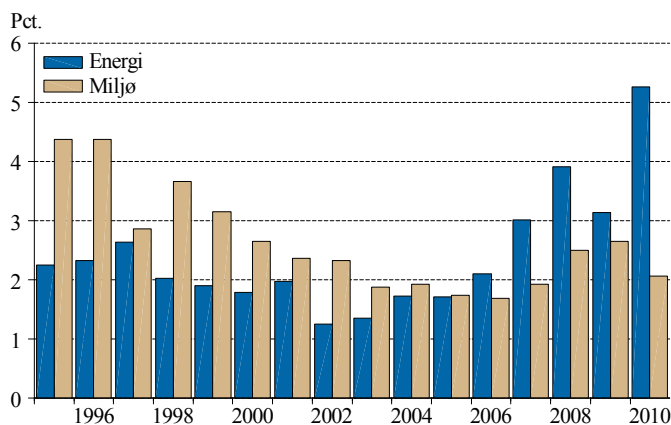
Det øgede fokus på energi- og miljøteknologi afspejles i bevillingerne til FoU på finansloven. Siden 2003 er finanslovsbevillingerne til miljøforskning øget med knap 60 pct. til godt 350 mio. kr. i 2010, og bevillingerne til energiforskning er næsten seksdoblet til godt 900 mio. kr. i 2010.

Skift i tilgangen til grøn vækst

Det generelle løft af den offentlige støtte til dansk energi- og miljøforskning indeholder et skift i tilgangen til grøn vækst. Selvom bevillingerne til FoU er steget både på energi- og miljøområdet siden midten af 00'erne, er bevillingerne til energiforskning steget langt mere end bevillingerne til miljøforskning. Andelen af offentlige midler, der allokeres til energiforskning, er mere præcist steget fra at udgøre 1,2 pct. af de samlede FoU-bevillinger i 2002 til 5,3 pct. i 2010, jf. figur II.4. Til sammenligning er de offentlige bevillinger til miljøforskning øget fra 1,7 pct. af de samlede FoU-bevillinger i 2005 til 2,1 pct. i 2010. Andelen af de

samlede finanslovsbevillinger til FoU, der allokeres til miljøforskning, er dog væsentlig lavere i 2010 end i midten af 1990'erne, hvor miljøforskning tegnede sig for mere end 4 pct. af de offentlige FoU-bevillinger.

Figur II.4 Finanslovsbevillinger til FoU, andel af nationale bevillinger



Anm.: "Energi" er her defineret som alle FoU-aktiviteter med relation til produktion og distribution af alle energiformer, herunder FoU vedrørende fremtidigt energibehov, energibesparelser og energikilder. "Miljø" defineres som FoU vedrørende forureningsbekæmpelse og naturbeskyttelse, herunder FoU vedrørende luft-, vand-, jord-, og støjforurening, samt affald og stråling.

Kilde: SourceOECD, *Main Science and Technology Indicators 2009*, Danmarks Statistik, Statistikbanken og egne beregninger.

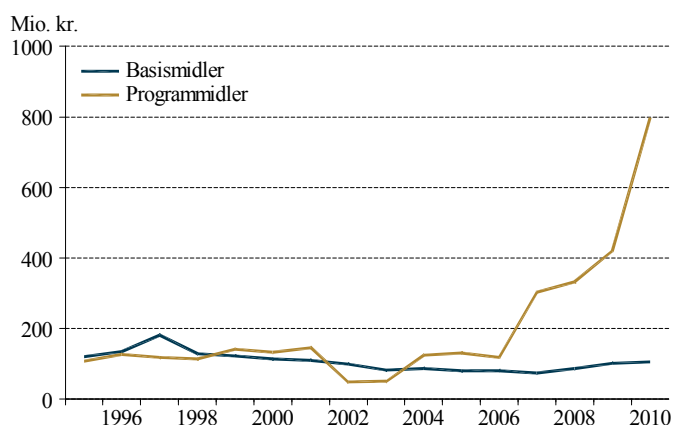
Offentlig støtte til generel og strategisk FoU

De offentlige udgifter til FoU kan opdeles i basis- og programmidler afhængigt af støttens karakter. Offentlige basismidler er karakteriseret ved, at de gives til løbende gennemførelse af grundlæggende forskningsaktiviteter på universiteter, andre læresteder og forskningsinstitutioner. På energiområdet består basismidlerne overvejende af støtte til forskning i regi af Risø DTU. Offentlige bevillinger klassificeres som programmidler, såfremt bevillingen gives til et konkret forskningsprogram, hvis den er tidsbegrænset, eller hvis den bevilges efter ansøgning. Programmidlers formål er mere strategiske, idet man med disse søger at fremme forskning inden for bestemte områder.

Øget støtte til energiforskning i form af flere programmidler

Stigningen i de nationale bevillinger til energiforskning har især haft karakter af forøgelser af de offentlige programmidler. Fra at udgøre omkring halvdelen af de samlede offentlige bevillinger frem til midten af 00'erne er programmidlernes andel af den offentlige støtte til energiforskning steget til at udgøre 90 pct. eller 800 mio. kr. i 2010, jf. figur II.5. Sammensætningen af basis- og programmidler i de offentlige bevillinger til energiforskning er således ændret betydeligt de seneste år. Til sammenligning har programmidlernes andel af de samlede offentlige FoU-bevillinger ligget på omkring 40 pct. i perioden 2007-10.

Figur II.5 *Finanslovsbevillinger til energiforskning, 2010-priser*



Kilde: Finansministeriets forskningsdatabase.

Øget fokus på kommercialisering af forskningsresultater

Forøgelsen af de offentlige programmidler til energiforskning siden midten af 00'erne har primært været rettet mod programmer: Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP) samt energiforskning i regi af Det Strategiske Forskningsråd (DSF), jf. boks II.1. EUDP blev oprettet i 2007 som afløser for Energiforskningsprogrammet (EFP). I modsætning til EFP, der overvejende havde fokus på forskning og udviklingsaktiviteter, er EUDP rettet mod demonstration af ny energiteknologi. Programmet administreres af en selvstændig bestyrelse, og der gives kun støtte til forskningsaktiviteter, som har et umiddelbart kommercielt

potentiale. I perioden 2008-10 blev 75 pct. af EUDP's tilsagn givet til private virksomheder. Øvrige midler blev udmøntet til de danske universiteter.² Til sammenligning blev 70 pct. af EFP's midler udmøntet til universiteter og forskningsinstitutioner i perioden 1998-2002, jf. Energistyrelsen (2004). Oprettelsen af EUDP er således udtryk for et ønske om at styrke de sidste dele af energiteknologiens udviklingskæde, jf. Energinet.dk mfl. (2010). Dette fokus blev yderligere skærpet med oprettelse af Green Labs DK i 2009, og i 2010 udgjorde støtten til EUDP og Green Labs DK til sammen 472 mio. kr. svarende til 60 pct. af de offentlige programmidler til energiforskning.

Flere midler til anvendelsesorienteret FoU

Det andet store forskningsprogram, som indgår i de offentlige programmidler til energiforskning, DSF, har til formål at støtte især anvendelsesorienteret forskning. Midlerne, der udmøntes til energiforskning under DSF, er rettet mod første led i udviklingen af energiteknologi. Langt størstedelen af bevillingerne tildeles offentlige institutioner. I 2009 fik private virksomheder kun 3 pct. af bevillingerne fra DSF's Programkomite for Bæredygtig Energi og Miljø, der udover energiforskning også indeholder forskning inden for både miljø og klimatilpasning. Øvrige midler blev udmøntet til offentlige institutioner, herunder især de danske universiteter, jf. Forsknings- og Innovationsstyrelsen (2010b).³ I 2010 udgjorde den offentlige bevilling til energiforskning i regi af DSF omkring 320 mio. kr., hvilket svarede til 40 pct. af de samlede offentlige programmidler til energiforskning.

Programmidler til energiforskning indgår i opgørelse af erhvervsstøtte

Både EUDP og DSF indgår i opgørelsen over den danske erhvervsstøtte, jf. Økonomi- og Erhvervsministeriet (2010). Med offentlige bevillinger på henholdsvis 412 mio. kr. og 320 mio. kr., udgjorde de tilsammen knap 3 pct. af den samlede danske erhvervsstøtte på 23,6 mia. kr. i 2010. Der kan imidlertid sættes spørgsmålstegn ved, om midlerne fra DSF kan karakteriseres som egentlig erhvervsstøtte, givet midlernes fokus på starten af teknologiudviklingskæden

- 2) I perioden 2008-10 finansierede EUDP omkring 40 pct. af de støttede projekters samlede budgetter.
- 3) I 2009 finansierede DSF omkring 60 pct. af de støttede energiprojekters samlede budgetter.

samt den relativt lave andel af støtte, der tilkommer private virksomheder.

Elforbrugere støtter også energiforskning

Udover bevillinger på finansloven finansieres den danske energiforskning også af elforbrugsfinansierede Public Service Obligations (PSO), som består af et tillæg til elprisen. De PSO-finansierede udgifter til FoU består i faste bevillinger, der i 2010 var på 180 mio. kr. Dette beløb udgør en forholdsvis beskeden andel af den samlede PSO-pulje, der typisk varierer mellem 2 mia. kr. og 4 mia. kr. Størstedelen af PSO-midlerne går i stedet til at dække det pristillæg, der gives til produktion af vedvarende energi.

Direkte støtte til energiforskning på omkring 1 mia. kr. i 2010

Medtages både finanslovsbevillingerne til energiforskningsprogrammerne og PSO-midler udmøntet til FoU på energiområdet, var den direkte støtte til energiforskning omkring 1 mia. kr. i 2010. Dette er i overensstemmelse med tilkendegivelsen i den energipolitiske aftale fra februar 2008. Både EUDP, de PSO-finansierede forskningsmidler og energiforskningen i regi af DSF er overvejende rettet mod teknologi til at reducere udledningen af CO₂ i forbindelse med produktion og forbrug af energi. Midlerne er dermed kun i mindre grad rettet mod forskning i ikke-energirelaterede udledninger af drivhusgasser fra bl.a. landbruget.

Støtte til dansk energiforskning fra andre forskningsprogrammer

Dansk energiforskning modtager ligeledes støtte fra en række offentlige forskningsprogrammer, hvis fokus ikke alene er rettet mod energiområdet. Disse omfatter bl.a. Højteknologifonden, Fornyelsesfonden og Vækstfonden, jf. boks II.1. Der hjemtages også midler fra EU til dansk energiforskning.

Generelle forskningsstøtteordninger

Danske virksomheder og forskningsinstitutioner har også adgang til offentlige midler fra en række andre kilder. Disse mere generelle tilskud til FoU har bl.a. til formål at fremme formidling af viden samt samarbejde mellem virksomheder og vidensinstitutioner i form af f.eks. innovationskonsortier, højteknologiske netværk og regionale teknologicentre. Tilskudsordningerne omfatter også støtte til ansættelse og uddannelse af forskningspersonale, f.eks. gennem erhvervsPhD-initiativet, videnpilotordningen samt forskerordningen, der er rettet mod at tiltrække udenlandsk FoU-personale.

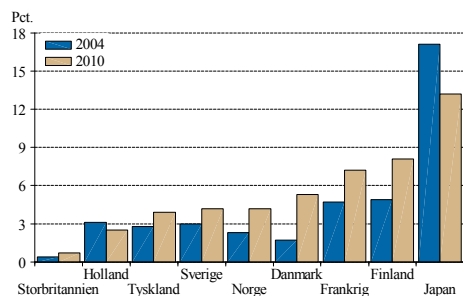
Støtten til energiforskning øget i mange lande

Den internationale tendens er, ligesom i Danmark, at der er sket en stigning i andelen af de offentlige FoU-udgifter, der går til energiforskning, mens andelen til miljøforskning er stagneret eller faldet, jf. figur II.6a og II.6b. Der er altså tegn på, at flere lande investerer mere intenst i FoU på energiområdet. Alligevel er Danmark ikke som tidligere placeret blandt de lande, hvor den offentlige støtte til energiforskning er lavest. Dette kan tilskrives den meget kraftige forøgelse af de offentlige bevillinger til dansk FoU på energiområdet siden midten af 00'erne.

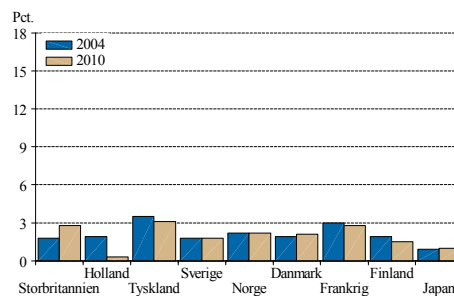
Forsøg på at udnytte erhvervs-potentiale inden for energi

Den offentlige støtte til dansk energiforskning er altså steget markant i slutningen af 00'erne, og støtten til energiforskning har i højere grad end tidligere fokus på sidste led af teknologiudviklingskæden. Således går de offentlige midler i øget omfang til demonstration og markedsmodning af allerede udviklet energiteknologi, hvilket i høj grad har karakter af erhvervsfremme. Det er imidlertid ikke kun i Danmark, at der kan spores en politisk satsning på energierhvervet. Siden midten af 00'erne er andelen af de offentlige bevillinger til energiforskning også steget i adskillige andre lande. Det tyder på, at Danmark følger en international tendens til at ville udnytte et erhvervs-potentiale på energiområdet. Det kan blive et problem for denne bestræbelse, at ikke alle lande kan opnå en særlig fordelagtig status på energiområdet.

Figur II.6a Andel af offentlige FoU-udgifter til energiforskning



Figur II.6b Andel af offentlige FoU-udgifter til miljøforskning



Anm.: Seneste observation for Storbritannien, Tyskland, Sverige og Japan er 2009.

Kilde: Eurostat.

Specifikke energiprogrammer

Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP) blev oprettet i 2007, som afløser for det tidligere Energiforskningsprogram (EFP). EUDP's formål er at gøre resultaterne af den danske FoU interessante for kommercielle aktører. Dermed støtter EUDP navnlig markedsnær udvikling og demonstration af energiteknologi. Programmet er under Klima- og Energiministeriets ressort og havde en bevilling på 412 mio. kr. i 2010.

Green Labs DK blev lanceret i forbindelse med Erhvervsklimastrategien i 2009 og er ligeledes under Klima- og Energiministeriets ressort. Der var i 2010 afsat 60 mio. kr. til ordningen, som støtter etablering af faciliteter til demonstration og test af nye grønne teknologier især inden for effektiv energianvendelse og vedvarende energi.

Public Service Obligations (PSO) – offentlige forpligtelser

PSO-midlerne består af opkrævninger hos elforbrugerne og skal finansiere udgifter til gennemførelse af "offentlige forpligtelser". Disse omfatter støtte til miljøvenlig elproduktion, forsyningsikkerhed samt FoU. PSO-midlerne udmøntet til FoU udgjorde 180 mio. kr. i 2010 og omfatter tilskud til udvikling af miljøvenlige elproduktionsteknologier (ForskEl), støtte til forskning inden for effektiv anvendelse af el (Elforsk) samt udbredelsen af vedvarende energiteknologier som solceller, bølgekraft og biomasseforgasning (ForskVE).

Specifikke miljøprogrammer

Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram (GUDP) blev oprettet i forlængelse af aftalen om Grøn Vækst fra juni 2009. Formålet med programmet er at fremme udvikling og demonstration af viden på fødevarer-, jordbrugs-, fiskeri- og akvakulturområdet. Programmet havde en bevilling på 229 mio. kr. i 2010 og er placeret under Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Handlingsplan for miljøeffektiv teknologi indgår som et led i den samlede danske indsats for fremme af grøn teknologi. Handlingsplanen er målrettet udvikling, test og demonstration af nye miljøteknologiske løsninger inden for vand, luftforurening og affaldsbehandling. Der er afsat 90 mio. kr. til indsatsen over årene 2010-11, og tildeling af midler vil ske i Miljøministeriets regi.

Forskningsprogrammer af mere generel karakter

Det Strategiske Forskningsråd (DSF) har til formål at fremme forskning inden for politisk prioriterede og afgrænsede forskningsområder. Energiforskning i regi af

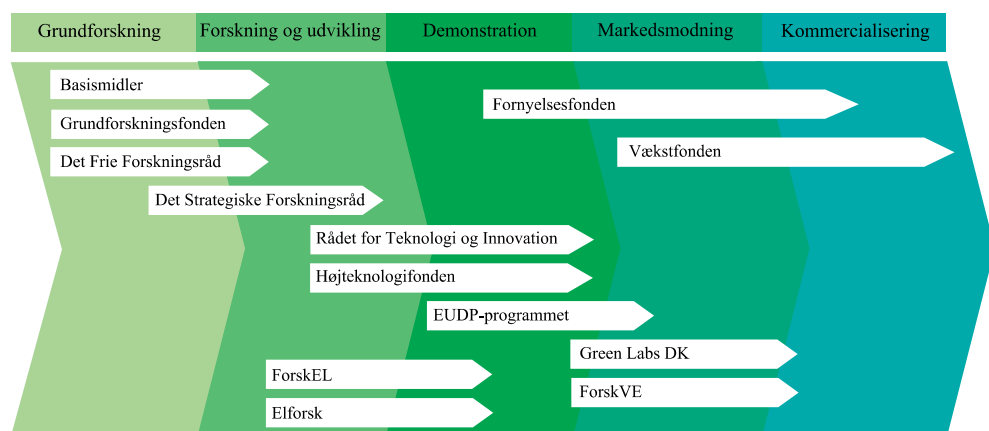
DSF foregår i Programkomiteen for Bæredygtig Energi og Miljø (BENMI), der udover midler til forskning i Fremtidens Energisystemer også støttede forskning inden for miljøteknologi og Fremtidens Klima i 2009. I 2010 blev der bevilliget 320 mio. kr. til energiforskning i regi af DSF. Rådet er placeret under Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling.

Højteknologifonden (HTF) er ligeledes placeret under Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling. Fondens vision er at gøre Danmark førende i omsætningen af teknologi til værdiskabelse inden for strategisk udvalgte områder ved at styrke samarbejdet mellem virksomheder og offentlige forskningsinstitutioner. I foråret 2010 var HTF medfinansør af FoU-projekter til en værdi af 286 mio. kr., hvoraf godt en fjerdedel var rettet mod energi- og miljøforskning.

Fornyelsesfonden udspringer af aftalen om fordelingen af globaliseringspuljen i efteråret 2009. Fonden er under Økonomi- og Erhvervsministeriets resort og støtter danske virksomheder i markedsmodning og kommercialisering af ny teknologi med henblik på eksport. Bevillingen i 2010 var på 236 mio. kr., hvoraf 40-50 pct. forventes allokeret til energi- og klimaprojekter.

Vækstfonden er en statslig fond, der har til formål at fremme innovation og fornyelse i erhvervslivet. Fonden tilbyder medfinansiering af risikobetonede udviklingsaktiviteter, som vurderes at have et erhvervmæssigt potentiale. Fondens vurdering af vækstområder har i senere år ledt til et øget fokus på energi- og miljøteknologi.

Forskningsprogrammernes placering i teknologiudviklingskæden er vist nedenfor.



Kilde: Eftergjort fra Energinet.dk mfl. (2010).

Patentering af energi- og miljøteknologi

Patentansøgninger tegn på innovativ aktivitet

Et patent består af eneretten til at udnytte en opfindelse kommercielt i en årrække. Det er et krav, at et patent repræsenterer en ny opfindelse, der adskiller sig væsentligt fra anden kendt teknologi, jf. boks II.2. Patenter bliver derfor ofte benyttet som en indikation af innovativ aktivitet. Et lands patenteringsaktivitet kan således indirekte benyttes som et udtryk for, hvorvidt FoU-indsatsen har resulteret i udvikling af ny viden.⁴

Kraftig stigning i antallet af danske energipatent-ansøgninger

I perioden 2006-08 modtog European Patent Office (EPO) i gennemsnit knap 900 patentansøgninger årligt med dansk ansøger. Det svarer til en stigning på 51 pct. i forhold til det gennemsnitlige årlige antal ansøgninger i perioden 1996-98, jf. tabel II.1. Antallet af danske patentansøgninger inden for miljøteknologi er steget med 16 pct., mens antallet af patentansøgninger inden for energiteknologi er femdoblet i 2006-08 i forhold til 1996-98, hvor antallet af danske energipatentansøgninger dog var meget beskedent. Størstedelen af de danske energipatentansøgninger i perioden 2006-08 vedrører vedvarende energiteknologi. Væksten i antallet af danske patentansøgninger har været højere end væksten i det samlede antal patentansøgninger til EPO i perioden 1996-98 til 2006-08. Det er både tilfældet for patentansøgninger generelt og ansøgninger inden for energi- og miljøteknologi. Især antallet af danske ansøgninger om patentering af ny energiteknologi er steget betydeligt sammenlignet med det samlede antal energipatentansøgninger til EPO.

4) Det er dog ikke al forskning, som søges patenteret, hvorfor patentstatistikken ikke er en perfekt indikator for innovativ aktivitet, jf. OECD (2009). Resultater af grundforskning kan således typisk ikke patenteres.

Et patent har til formål at beskytte en ny opfindelse. Det giver patentholderen ret til som den eneste at fremstille, sælge, importere eller bruge den patenterede opfindelse til kommercielle formål. Et patent gælder i op til 20 år fra ansøgningsdatoen, jf. Patent- og Varemærkestyrelsen (2008).

For at en opfindelse kan patenteres, skal tre betingelser være opfyldt: Opfindelsen skal være ny, have opfindeshøjde – dvs. den skal adskille sig markant fra andre opfindelser, der tidligere er gjort inden for dens område – og kunne udnyttes erhvervsmæssigt. Et patent giver kun mulighed for at udelukke en erhvervsmæssig udnyttelse af opfindelsen. Det betyder, at patenteret teknologi frit kan udnyttes af andre i forbindelse med forsøg og videre forskning, der kan føre til nye patenter.

Et patent gælder for et bestemt geografisk område, og en patentansøgning skal derfor i princippet indgives og behandles separat i alle de lande, hvor man ønsker opfindelsen beskyttet. En patentansøgning har virkning fra det tidspunkt, den første gang bliver indleveret til en patentmyndighed (prioritetsdatoen). Prioritetsdato for en patentansøgning afgør, hvornår opfindelsen betragtes som “kendt teknik” (prior art). Den ansøger, der har den tidligste prioritetsdato, har dermed også formelt retten til opfindelsen. Fra prioritetsdatoen har ansøger 12 måneder til at beslutte, om opfindelsen skal videreføres internationalt.

Der findes ingen myndighed, som kan give et “verdenspatent”, men i stedet en international ordning, Patent Cooperation Treaty (PCT), som har til formål at gøre det lettere at opnå patent i flere lande. En PCT-ansøgning kan ikke i sig selv føre til udstedelse af et patent, men giver ansøger mulighed for at få en orienterende nyhedsvurdering af opfindelsen efter internationale regler. Efter nyhedsvurdering skal PCT-ansøgningen videreføres nationalt i hvert af de medlemslande, hvor man ønsker, at patentet skal gælde. I denne fase vurderer hver enkelt patentmyndighed ansøgningen med udgangspunkt i den internationale nyhedsundersøgelse. World Intellectual Property Organisation er ansvarlig for behandlingen af PCT-ansøgningerne.

Udover PCT findes ordninger, som gør det muligt at opnå regionale patenter. Et eksempel herpå er Den Europæiske Patentkonvention, der omfatter en række europæiske lande og administreres af European Patent Office (EPO). En ansøgning om et “europæisk” patent indleveres og behandles centralt i EPO, der har bemyndigelse til at udstede patenter i medlemslandene. Et patent udstedt af EPO er dog først gyldigt, når det er valideret i de medlemslande, hvor opfindelsen ønskes patenteret. Danmark er med i både PCT og EPO.

Tabel 11.1 Patentansøgninger til European Patent Office (EPO)

	1996-98	2006-08	Andele 2006-08	Ændring fra 1996-98 til 2006-08
	----- Gns. antal -----		----- Pct. -----	
Danske patent-ansøgninger til EPO				
Alle teknologier	577,8	872,2	100,0	51
Miljøteknologi	20,3	23,7	2,7	16
Energiteknologi	6,5	40,9	4,7	529
Vedvarende energi	3,3	34,6	84,5	937
Energieffektivitet	2,8	6,7	16,3	135
Alt. brændstoffer	0,3	0,0	0,0	-
Alle patent-ansøgninger til EPO				
Alle teknologier	80.083	103.853	100,0	30
Miljøteknologi	1.636	1.627	1,6	-1
Energiteknologi	664	1.447	1,4	118
Vedvarende energi	162	628	43,4	287
Energieffektivitet	376	478	33,0	27
Alt. brændstoffer	130	348	24,0	167

Anm.: Opgørelsen er baseret på patentansøgninger, fordi tidshorisonten mellem en patentansøgning og -bevilling kan være lang (i gennemsnit fire år for EPO-patentansøgninger), jf. Webb mfl. (2005). OECD's opgørelse af patentansøgninger inden for "Pollution abatement and waste management" benyttes som mål for patentansøgninger inden for miljøteknologi. OECD's opgørelse af patentansøgninger inden for "Climate Change mitigation" er benyttet som mål for patentansøgninger inden for energiteknologi. En patentansøgning kan godt være kategoriseret inden for flere teknologiske områder. Derfor svarer summen af det gennemsnitlige antal patentansøgninger inden for vedvarende energi, energieffektivitet og alt. brændstoffer ikke til det gennemsnitlige antal patentansøgninger inden for energiteknologi.

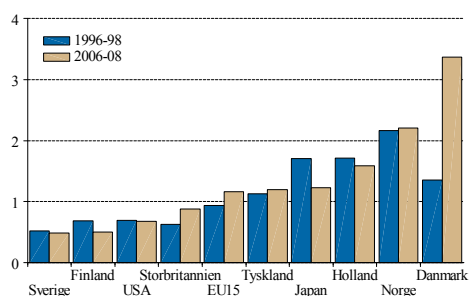
Kilde: OECD, *Citations database*, June 2010, *REGPAT database*, June 2010 og egne beregninger.

**Danmark
specialiseret i
udvikling af
energiteknologi**

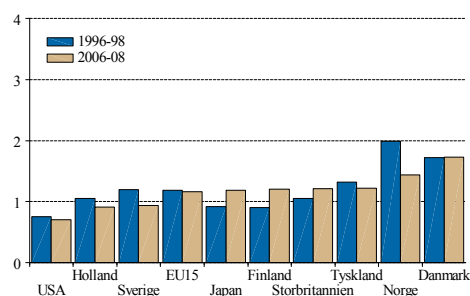
Forholdet mellem energipatentansøgningernes andel af et lands samlede antal patentansøgninger og det tilsvarende forhold for samtlige patentansøgninger til EPO giver en simpel indikation af landets specialisering inden for udviklingen af ny energiteknologi, der er relevant på de europæiske markeder. En international sammenligning viser, at de danske patentansøgninger i høj grad er specialiseret inden for energiteknologi, og at denne specialisering har været tiltagende siden midten af 1990'erne, jf. figur II.7a. Blandt de lande vi normalt sammenligner os med, var Danmark i perioden 2006-08 det land, der havde den højeste andel af energiteknologi i patentansøgningerne indgivet til EPO. Tilsvarende er Danmark også relativt specialiseret inden for udviklingen af ny miljøteknologi, jf. figur II.7b.⁵

- 5) Billedet er stort set det samme, hvis specialiseringsgraden i stedet opgøres i forhold til ansøgninger indleveret under Patent Cooperation Treaty. Dette tilsiger, at Danmark også i en global sammenhæng er forholdsvis specialiseret inden for udviklingen af ny energi- og miljøteknologi.

Figur II.7a Specialiseringsgrad, energipatentansøgninger



Figur II.7b Specialiseringsgrad, miljøpatentansøgninger



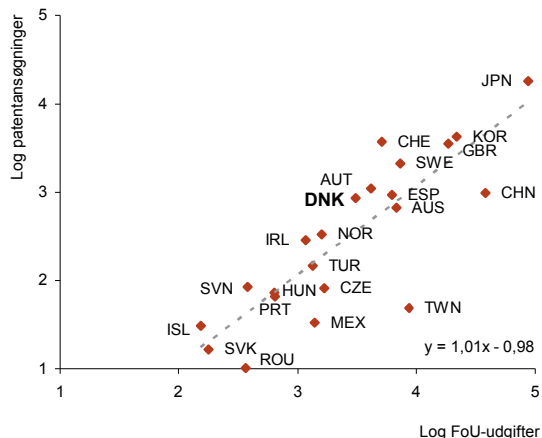
Anm.: Figureerne omfatter patentansøgninger indgivet til EPO. Specialiseringsgraden angiver forholdet mellem andelen af energipatentansøgninger (og miljøpatentansøgninger) i landets samlede antal patentansøgninger og andelen af energipatentansøgninger (og miljøpatentansøgninger) i det samlede antal patentansøgninger til EPO. En værdi på mere end 1 er tegn på, at landets patentansøgninger er relativt specialiserede inden for energi- hhv. miljøteknologi.

Kilde: OECD, *Citations database*, June 2010, samt *REGPAT database*, June 2010 og egne beregninger.

Nær sammenhæng mellem FoU og patenteringsaktivitet ...

Set på tværs af lande synes der at være en nær sammenhæng mellem forskningsudgifter og antallet af patentansøgninger, jf. figur II.8. I figuren anvendes en tidsforskydning mellem erhvervslivets FoU og patentansøgninger. Det skyldes dels at forskningsprocessen tager til og dels at der typisk går 12 måneder fra en patentansøgning indleveres nationalt til den videreføres som en international patentansøgning, jf. boks II.2. Fastlæggelse af tidsperspektivet fra FoU-udgift til anmodning om patentrettighed er dog forbundet med stor usikkerhed, hvorfor figuren kun er indikativ.

Figur II.8 FoU-udgifter og patentansøgninger



Anm.: FoU-udgifterne er gennemsnitlig FoU udført af den private sektor i perioden 2004-06, målt i mio. USD købekraftskorrigerede (PPP) 2000-priser. FoU-udgifterne for Danmark er fra 2007, for Norge og Mexico er de fra 2003. Patentansøgningerne er gennemsnitlig antal ansøgninger til EPO i perioden 2006-08. Patenter udtaget af offentlige institutioner indgår også i opgørelsen.

Kilde: SourceOECD, *Main Science and Technology Indicators 2009*, OECD, *Citations database*, June 2010, samt *REGPAT database*, June 2010 og egne beregninger.

... også på energi- og miljøområdet

En tilsvarende sammenhæng mellem forskningsaktivitet og antallet af patentansøgninger kan også spores for energi- og miljøforskning, jf. figur II.9a og II.9b.⁶ Figureerne kunne ydermere antyde, at de danske investeringer i FoU inden for energi og miljø i særlig grad giver anledning til forholdsvis mange patentansøgninger set i en international sammenhæng, da Danmark ligger over den stiplede tendenslinje.

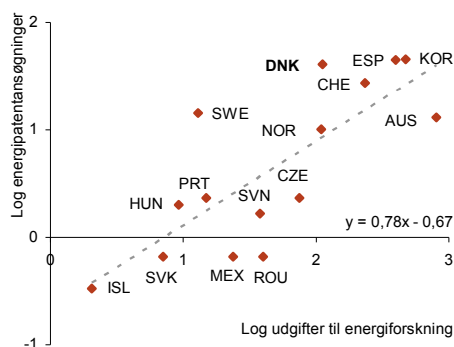
6) Oplysningerne i figur II.9 er baseret på to forskellige og ikke nødvendigvis sammenfaldende definitioner af energi og miljø, hvilket gør sammenligningen usikker. Fra patentstatistikken benyttes "Climate Change mitigation" som mål for patentansøgninger inden for energiteknologi. "Pollution abatement and waste management" benyttes som mål for patentansøgninger inden for miljøteknologi. Fra FoU-statistikken benyttes forskning inden for "Energy" som et mål for udført energiforskning, mens forskning inden for "Environment" bliver brugt som mål for miljøforskning.

Dette skal dog ses i lyset af, at der kun findes oplysninger om FoU-udgifter fordelt på energi og miljø for relativt få lande. De lande, som i figurene har relativt få patentansøgninger i forhold til deres FoU-udgift, er mindre veludviklede lande som f.eks. Rumænien og Mexico.

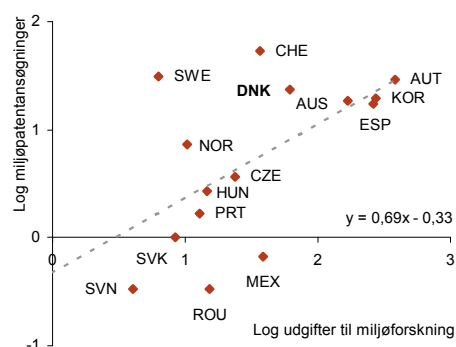
Citationer indikerer værdi af et patent

Selvom de simple deskriptive analyser ovenfor indikerer, at den danske innovationsaktivitet er forholdsvis høj sammenlignet med udgifterne til FoU, siger de ikke noget om værdien af den teknologi, der søges patenteret. Opgørelser over patentcitationer bliver ofte brugt som en indikation af et patents værdi. Baggrunden er, at indholdet i en patentansøgning bliver betragtet som "kendt teknik" i det øjeblik, den bliver indleveret til en patentmyndighed første gang, jf. boks II.2. Enhver viderebygning på teknologi, der allerede er søgt patenteret, skal derfor citeres i fremtidige patentansøgninger. Antallet af modtagne citationer kan derfor betragtes som en indikation af et patents relevans og kvaliteten af den viden (og dermed indirekte den FoU-aktivitet), der ligger bag opfindelsen, jf. OECD (2009).

Figur II.9a FoU-udgifter og energipatentansøgninger



Figur II.9b FoU-udgifter og miljøpatentansøgninger



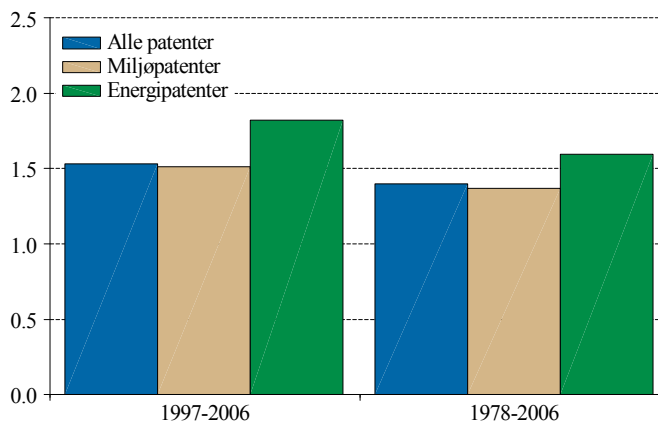
Anm.: Som figur II.8. FoU-udgifterne for Sverige er fra 2003. De spanske FoU-udgifter er et gennemsnit af årene 2003 og 2007.

Kilde: SourceOECD, *Main Science and Technology Indicators 2009*, OECD, *Citations database*, June 2010, samt *REGPAT database*, June 2010 og egne beregninger.

Danske energipatenter citeres meget

En simpel sammenligning af citationer til danske patenter registreret ved EPO med det gennemsnitlige antal givet til EPO-patenter fra hele EU15 viser, at danske patenter generelt bliver citeret mere, jf. figur II.10. Dette er især tilfældet for danske energipatenter, der i perioden 1978-2006 har modtaget 60 pct. flere citationer end gennemsnittet for EU15. Forskellen er endnu større, hvis man kun betragter perioden 1997-2006. Det høje antal citationer til danske energipatenter skal især tilskrives mange citationer til patenter vedrørende vedvarende energiteknologi. Disse fik i gennemsnit 95 pct. flere citationer i perioden 1978-2006 end alle EU15-patenter inden for vedvarende energi i samme periode. Det gennemsnitlige antal citationer givet til danske miljøpatenter følger det generelle danske niveau. Det er tegn på, at danske patenter er af forholdsvis høj kvalitet, og at især de danske energipatenter er meget værdifulde set i et internationalt perspektiv. Dette bekræftes af en økonometrisk analyse, jf. boks II.3.

Figur II.10 Danske patentcitationer relativt til EU15-patentcitationer



Anm.: Opgørelsen omfatter kun patenter, der er registreret ved EPO. Figuren viser det gennemsnitlige antal citationer givet til danske patenter i forhold til det gennemsnitlige antal citationer givet til EU15-patenter. En værdi på mere end 1 indikerer, at patenterne i gennemsnit modtager flere citationer end EU15-patenter inden for samme teknologiske område.

Kilde: OECD, *Citations database*, June 2010, samt *REGPAT database*, June 2010 og egne beregninger.

Formålet med den økonometriske analyse er at analysere dybere end figur II.10 i sig selv gør det, om danske energi- og miljøpatenter citeres mere end energi- og miljøpatenter fra andre lande. Er det tilfældet, kan det tages som et tegn på, at patenterne af forholdsvis høj kvalitet.

For at kunne isolere effekten på antallet af citationer af, at et patent er et dansk miljø- eller energipatent, er det nødvendigt at kontrollere for andre forskelle i citationstilbøjeligheder. Blandt andet skal der tages højde for, at citationskravene har ændret sig gennem tiderne, hvorfor den generelle tendens til at citere er steget. Derudover har forskellige lande forskellig citationsadfærd, og der er også forskel i tilbøjeligheden til at citere på tværs af teknologiske områder, jf. OECD (2009). Endelig skal der tages højde for, at ældre patenter har større sandsynlighed for at blive citeret mere.

Den empiriske model tager følgende form:

$$CIT_i = a_{IPC} + a_t + b_1 DK_{milj\ddot{o},i} + b_2 DK_{VE,i} + b_3 DK_{EE,i} + b_4 DK_i + b_5 EU15_i + e_i$$

hvor den afhængige variabel, CIT_i , angiver antal citationer givet til patent i . Alle de forklarende variable har karakter af dummy-variable, der antager værdien nul eller en. Variable a_{IPC} angiver patentets International Patent Classification (IPC) og kontrollerer for, om der er tidsinvariante forskelle i tendensen til at citere på tværs af teknologiske områder (IPC-kategorier). a_{IPC} består af teknologiske områder på et detaljeret niveau, som indeholder mange underkategorier af f.eks. "energi" og "miljø". Variable a_t kontrollerer således også for, om der i Danmark er en anden sammensætning på underkategorier af f.eks. energipatenter end i udlandet. Variablen a_t angiver året for patentets udtagelse, og kontrollerer dermed både for ændringer i citationsadfærd over tid, og for at ældre patenter har større sandsynlighed for at være citeret end nye patenter. DK_i og $EU15_i$ angiver, om patentet er givet til en dansk ansøger henholdsvis en ansøger fra et EU15-land (inklusive Danmark). Disse variable kontrollerer for geografisk betingede forskelle i citationstilbøjelighed. Endelig angiver variablene $DK_{milj\ddot{o},i}$, $DK_{VE,i}$ og $DK_{EE,i}$ om det citerede patent har karakter af henholdsvis et dansk miljøpatent, en dansk patentering af vedvarende energiteknologi, eller et dansk patent vedrørende energieffektivisering. Parametrene b_1 , b_2 og b_3 opfanger dermed, om der citeres mere til danske patenter inden for henholdsvis miljø, vedvarende energi og energieffektivisering, når der kontrolleres for forskelle i citationsadfærd over tid, forskelle i citationstilbøjelighed mellem teknologiske områder og det generelle niveau for citationer til danske patenter.

Analysen er foretaget på baggrund af oplysninger fra OECD's citationsdatabase for patenter fra perioden 1997-2006. Estimationen udføres alene på patenter registreret ved EPO, men antallet af citationer stammer fra ansøgninger til patentkontorer i hele verden. Estimationsresultaterne er vist i tabel A. Der er medtaget to estimationer, hvor den afhængige variabel enten er alle modtagne citationer eller antal citationer modtaget de første tre år efter anmodningen om patentering.

Tabel A Estimationsresultater

	Alle citationer	Citationer, første tre år
Dansk miljøpatent ($DK_{milj\theta,i}$)	0,13	0,06
Dansk VE-patent ($DK_{VE,i}$)	0,75**	0,86**
Dansk EE-patent ($DK_{EE,i}$)	0,03	0,36
Dansk patent (DK_i)	0,27**	0,27**
EU15 patent ($EU15_i$)	-0,15**	-0,17**
Antal observationer (N)	440.246	438.563
LogL/N	-1,630	-1,083

Anm.: ** angiver, at estimatet er signifikant forskelligt fra 0 på et 1 pct. signifikansniveau. Modellerne er estimeret som en betinget negativ binomialmodel med 5178 (alle citationer) og 4809 (citationer, første tre år) fixed effects for IPC-koder.

Kilde: OECD, *Citations database*, June 2010, samt *REGPAT database*, June 2010 og egne beregninger.

Af tabellen fremgår, at danske patenter generelt citeres mere end andre patenter registreret ved EPO. Der er ikke signifikant evidens for, at danske miljøpatenter eller danske patenter vedrørende energieffektivisering citeres mere end andre landes patenter inden for samme teknologiområde. Endelig viser den økonometriske analyse, at danske patenter inden for vedvarende energi citeres signifikant oftere.

Alt i alt bekræfter den økonometriske analyse således, at danske patenter generelt – og danske patenter inden for vedvarende energi i særdeleshed – citeres forholdsvis meget. Der fås lignende resultater, hvis man betragter perioden 1978-2006.

Tegn på af at energipatenter er dyre at udvikle ...

Sammenholdes antallet af patenter med udgifterne til FoU fås en indikation af omkostningen ved at opnå et patent. En sammenstilling af antallet af danske patenter, der er registreret i perioden 1997-2006, med udgifterne til FoU i samme periode viser, at der er registreret færre energipatenter pr. mia. kr. investeret i energiforskning sammenlignet med det samlede antal registrerede patenter pr. forskningsudgift, jf. figur II.11. Dette kunne tyde på, at de danske energipatenter har været forholdsvis dyre at udvikle i forhold til andre danske patenter. Yderligere viser figuren, at udviklingen af miljøpatenter ikke kræver en tilsvarende stor investering i miljøforskning.

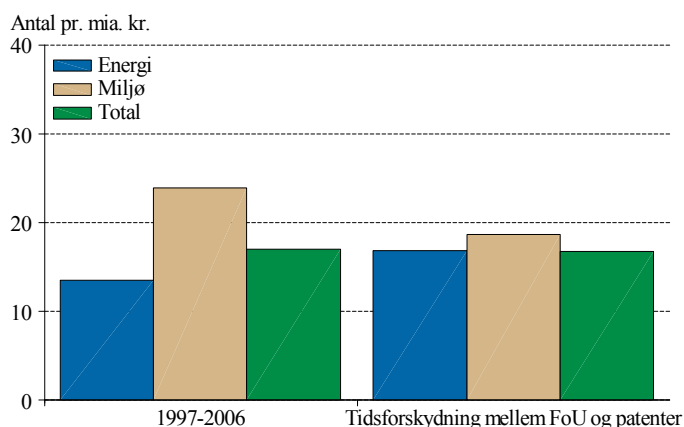
... men resultatet er følsomt over for opgørelsesperiode

Det tager typisk fire år at få en opfindelse patenteret ved EPO, jf. Webb mfl. (2005). Det betyder, at der er en forholdsvis stor forsinkelse mellem udførelsen af FoU og opnåelse af patentrettighed. Udover at sammenholde FoU-udgifter med patenter over en længere periode, kan der også tages højde for denne forsinkelse ved at sammenholde antal patentrettigheder med FoU udført i en tidligere periode. Forskellen mellem omkostningerne ved at udvikle et energipatent og den generelle omkostning ved patentudvikling udlignes, når den private sektors FoU i perioden 1997-2001 sammenholdes med antal patenter offentliggjort i perioden 2002-2006, jf. figur II.11. Der er dog ikke umiddelbart tegn på, at danske energipatenter ligefrem skulle være billigere at udvikle og slet ikke sammenlignet med danske miljøpatenter.

Dansk energipatenteringsaktivitet er høj, og patenterne er værdifulde

Set i en international sammenhæng er der således tegn på, at de danske patentansøgninger er relativt specialiserede inden for energiteknologi. Derudover modtager danske energipatenter også forholdsvis mange citationer, hvilket tyder på at kvaliteten af den danske energiteknologi er forholdsvis høj.

Figur II.11 Danske patenter i forhold til udført FoU



Anm.: Opgørelsen omfatter offentliggjorte patenter registreret i EPO. FoU-udgifter er opgjort som FoU udført af erhvervslivet, fordi antallet af offentlige patenter udgør en meget lille del af det samlede antal patenter. For søjlerne "Tidsforskydning mellem FoU og patenter" er den private sektors FoU i perioden 1997-2001 sammenlignet med antal patenter i perioden 2002-2006.

Kilde: SourceOECD, *Main Science and Technology Indicators 2009*, OECD, *Citations database*, June 2010, samt REGPAT database, June 2010 og egne beregninger.

Eksport af energi- og miljøteknologi

Eksport som indikation af erhvervspotentiale

Offentlige bevillinger til FoU på energi- og miljøområdet synes at være motiveret ud fra det synspunkt, at danske virksomheder har et erhvervsmæssigt potentiale inden for energi- og miljøteknologi. Eksportudvikling og eksport-specialisering benyttes ofte som indikation herpå.⁷

Dansk eksport af energiteknologi er steget ...

Andelen af energiteknologi i den samlede danske vareeksport er steget fra godt 6 pct. i 2000 til knap 12 pct. eller 59 mia. kr. i 2009, jf. figur II.12a. Til sammenligning er eksporten af energiteknologi og -udstyr i hele EU15 kun steget fra at udgøre 5,4 pct. af den samlede vareeksport i 2000 til at udgøre 6,6 pct. i 2009.

7) Synspunktet her er ikke, at en høj eksportandel er en kvalitet i sig selv, men blot at en høj eksportandel kan være tegn på en styrkeposition.

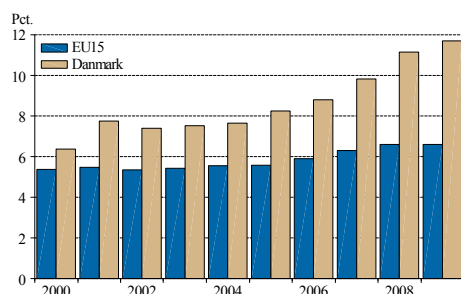
... og dansk specialisering i eksport af energiteknologi er øget

En højere andel af energiteknologi i den danske eksport sammenlignet med andelen af energiteknologi i eksporten fra hele EU15 indikerer, at Danmark er forholdsvis specialiseret inden for handel med energiteknologi i forhold til de lande, vi normalt sammenligner os med. Ydermere har den relativt høje vækst i eksport af dansk energiteknologi sammenlignet med væksten i eksporten af energiteknologi fra EU15 resulteret i, at den danske eksportspecialisering inden for energiteknologi er øget siden 2000. I 2009 var Danmark således det land i EU15, der var mest specialiseret i eksport af energiteknologi. Energiteknologi er i denne sammenhæng defineret som teknologi eller produkter, der reducerer energiforbruget hos forbrugere eller virksomheder. Energiteknologi omfatter bl.a. vindmøllekomponenter og varmeisolering mv.

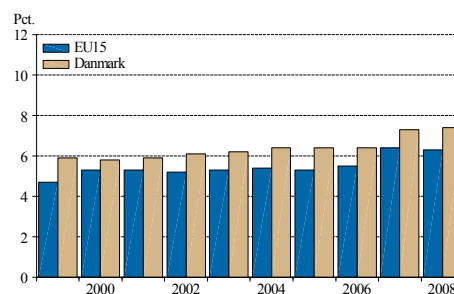
Andelen af miljøteknologi i dansk eksport ikke steget tilsvarende

Andelen af miljøteknologi i den samlede danske eksport har ikke udvist en lige så kraftig stigning som andelen af energiteknologi, jf. figur II.12b. Alligevel er Danmark relativt specialiseret i eksporten af miljøteknologi sammenlignet med landene i EU15. Miljøteknologi er her defineret som teknologi eller produkter, der begrænser belastningen af miljøet. Miljøteknologi omfatter bl.a. håndtering af affald, kemikalier, jordforurening, luftforurening mv.

Figur II.12a Andel af energiteknologi i eksport



Figur II.12b Andel af miljøteknologi i eksport



Anm.: Der indgår kun vareeksport i opgørelsen (serviceydelser er ekskluderet). Grundet problemer med afgrænsning af energi- og miljøteknologi er der et betydeligt overlap mellem opdelingen af energi- hhv. miljøteknologi. I 2008 var overlappet mellem de to opgørelser for Danmark på 16 mia. kr., svarende til henholdsvis 24 pct. og 37 pct. af eksporten af energi- og miljøteknologi.

Kilde: Energistyrelsen m.fl., *Energierhvervsanalyse 2009* og Erhvervs- og Byggestyrelsens enhed for erhvervsøkonomisk forskning og analyse (FORA).

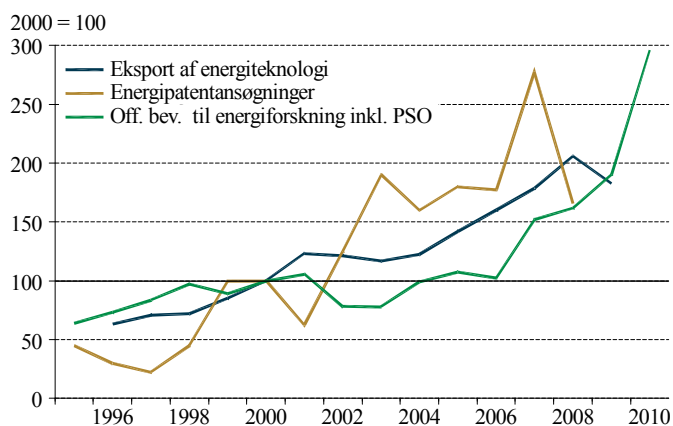
Hverken patent- eller eksportsucces argument for forskningsstøtte i særlig grad

Der er altså tydelige tegn på, at danske virksomheder har haft succes med både udvikling og afsætning af energiteknologi det seneste årti, idet antallet af energipatentansøgninger og eksporten af energiteknologi har været stigende, jf. figur II.13. En stor eksport kan være en indikation af et erhvervspotentiale. Men en stor eksport alene udgør ikke et tilstrækkeligt grundlag for at formode, at offentlig forskningsstøtte øremærket til det eksporterende erhverv vil kunne fremme dansk velfærd mere end tilsvarende forskningsstøtte givet til andre danske erhverv.

Eksportsucces før stigning i støtte til energiforskning

Yderligere kan det konstateres, at de danske virksomheders fremgang inden for udvikling og eksport af energiteknologi er foregået i en periode, hvor de offentlige bevillinger til energiforskning var markant lavere end niveauet i dag. I 2006, umiddelbart inden den offentlige støtte til energiforskning blev forøget kraftigt, var antallet af energipatentansøgninger og den danske eksport af energiteknologi henholdsvis 80 pct. og 60 pct. højere end niveauet i 2000. Dette peger i retning af, at danske virksomheder har klaret sig godt på det internationale marked for energiteknologi allerede inden den markante stigning i støtten til den erhvervsrettede energiforskning.

Figur II.13 Patentansøgninger, eksport og bevillinger til FoU inden for energiteknologi



Anm.: Den danske eksport af energiteknologi og de offentlige bevillinger til energiforskning (inkl. PSO-finansieret forskning) er opgjort i faste 2010-priser.

Kilde: Energistyrelsen, *Energistatistik 2009*, Finansministeriets forskningsdatabase, OECD, *Citations database*, June 2010, samt *REGPAT database*, June 2010 og egne beregninger.

Sammenfatning

Øget offentlig støtte til strategisk og erhvervsfremmende energiforskning

I sidste halvdel af 00'erne er den offentlige støtte til dansk energiforskning blevet opprioriteret. Stigningen i støtten til energiforskning er især sket i form af tilførsel af programmidler, hvilket er et udtryk for en intensivering af den strategiske forskning inden for energi. Ydermere er det offentlige fokus i højere grad end tidligere rettet mod demonstration og markedsmodning af private virksomheders forskningsresultater. Indsatsen er således i stigende grad blevet rettet mod de sidste led i energiteknologiens udviklingskæde, frem for mod udvikling af mere grundlæggende viden på området. Den øgede offentlige støtte til energiforskning kan således siges i høj grad at have karakter af erhvervsfremme.

Øget dansk innovativ aktivitet på energiområdet

En optælling af danske patentansøgninger viser, at den innovative aktivitet på energiområdet er steget – også sammenlignet med udlandet. Derudover bliver de danske energipatenter citeret relativt meget, hvilket kan betragtes som et udtryk for, at den danske innovation er af forholdsvis høj kvalitet. Der er dog også tegn på at danske energipatenter har været dyre at udvikle, især i forhold til udviklingen af et dansk miljøpatent, når omkostningen måles som den udførte FoU på området. Endelig indikerer en stigning i dansk eksport af energiteknologi, at danske virksomheder har klaret sig godt i den internationale konkurrence.

Energiteknologisk succes i Danmark påbegyndt uden nævneværdig forskningsstøtte

Alt i alt kan det konstateres, at udvikling og eksport af dansk energiteknologi har været stigende over en længere periode, hvilket kan ses som en indikation af et erhvervs-potentiale. Den offentlige støtte til FoU på energiområdet er derimod især steget inden for de seneste år. Den relative succes for dansk miljø- og især energiteknologi kan således ikke umiddelbart tilskrives øget offentlig forskningsstøtte, og tilsvarende giver de danske virksomheders succes heller ikke anledning til at formode, at energiforskningen i Danmark er specielt understimuleret i forhold til anden forskning. Udviklingen tilsiger altså ikke, at offentlig forskningsstøtte øremærket til energiteknologi vil kunne fremme værdiskabelsen mere end tilsvarende forskningsstøtte givet til andre danske erhverv. Helt generelt udgør erhvervs-mæssig succes på et bestemt område ikke et argument for offentlig støtte i særlig grad til det pågældende område. Støtte i ekstraordinær grad bør være begrundet i et særligt højt samfundsøkonomisk afkast af pågældende type forskning. Dette synspunkt uddybes i de næste afsnit.

II.3 Samspil mellem klima- og forskningspolitik

Indhold

I dette afsnit beskrives den økonomiske litteratur vedrørende samspillet mellem traditionelle miljøregulerende virkemidler og forskningspolitiske virkemidler, som henholdsvis CO₂-afgifter og subsidier til energiforskning, i forhold til at reducere udledningen af CO₂ og afhængigheden af fossile brændsler så effektivt som muligt.

Teknologi og klima	Der er en gensidig påvirkning mellem regulering af CO ₂ -udledning og udviklingen af energiteknologi, som det er vigtigt at overveje i forbindelse med udformningen af klima- og forskningspolitikken. Den teknologiske udvikling påvirker CO ₂ -udledning og andre miljøeffekter ved produktion og forbrug. Påvirkningen afhænger af, hvilken form den teknologiske udvikling tager. På den ene side kan nye teknologier give anledning til nye typer af miljøproblemer, men udviklingen af mere miljøvenlig teknologi kan på den anden side gøre det muligt at mindske miljøpåvirkningerne ved produktion og forbrug. Ny teknologi kan derfor mindske omkostningen ved at nå en given reduktion af CO ₂ -udledningen eller gøre det muligt at nå en mere ambitiøs målsætning til en given samfundsøkonomisk omkostning.
Regulering giver tilskyndelse til investering i klimavenlig teknologi	Hovedparten af den samlede forskning foregår i den private sektor, jf. afsnit II.2. Fordelingen af den private forskning mellem forskningsområder er styret af det forventede afkast ved udviklingen af forskellig teknologi. Teknologisk udvikling på energi- og miljøområdet vil derfor afhænge af energi- og miljøreguleringen, som gennem højere omkostninger giver udlejerne et incitament til at bruge ny og mindre miljøbelastende teknologi. En pris på "forurening" er derfor væsentlig for tilskyndelsen til at investere i udviklingen af mere miljøvenlig teknologi.
Markedsfejl og teknologisk udvikling	Energiforbrug, teknologisk udvikling og skabelse af ny viden i form af forskning er kendetegnet ved forskellige typer af markedsfejl, som tilsiger regulering. Overordnet kan der skelnes mellem følgende typer af markedsfejl: <ul style="list-style-type: none"> • Miljø- og klimaeffekt (negativ eksternalitet) • Spillover af forskning (positiv eksternalitet) • Learning-by-doing eksternalitet (positiv eksternalitet)
Negative miljøeffekter	Brugen af fossile brændsler er forbundet med negative miljøeffekter i form af bl.a. CO ₂ -udledning. Uden regulering tager virksomheder og forbrugere ikke fuldt ud hensyn til de negative klimaeffekter ved deres aktiviteter. Dermed bliver udledningen uhensigtsmæssigt stor.

Positive spillover-effekter af forskning

Forskning og udvikling genererer ny viden til den forskende virksomhed. Denne viden gør det muligt for virksomheden at producere billigere eller nye produkter. Viden er imidlertid et gode, hvis brug ikke udelukker andres brug af godet (ikke-rivaliserende gode). Samtidig er det vanskeligt på længere sigt at forhindre andre virksomheder i at bruge den nye viden (ikke fuldt ekskluderbart gode). En virksomhed vil naturligvis forsøge at holde værdifuld ny teknologisk viden for sig selv. Det er en forudsætning for, at virksomheden overhovedet vil forske, at den i hvert fald for en periode kan ekskludere andre virksomheder fra at bruge den nye viden (enten ved at holde den nye viden skjult eller fordi den nye viden har højere værdi for virksomheden end for andre virksomheder). På sigt vil andre dog også få gavn af den nye viden, og viden har således karakter af et offentligt gode. Det betyder, at opbygning af viden er forbundet med positive videnseffekter, der kommer andre virksomheder til gavn (spillover-effekter). Uden regulering bliver den samlede forskningsaktivitet derfor for lav i forhold til det samfundsøkonomisk hensigtsmæssige niveau.

Empiriske undersøgelser finder således, at det samfundsøkonomiske afkast af privat forskning er betydeligt højere end afkastet for den forskende virksomhed. Ofte findes samfundsøkonomiske afkast af forskning fra 30 pct. til 50 pct. af udviklingsomkostningerne, hvoraf det privatøkonomiske afkast ofte udgør mellem 7 pct.point og 25 pct.point, jf. Hall mfl. (2009) og Popp (2010).

Learning-by-doing ...

Den teknologiske udvikling inden for en bestemt produktion eller branche kan ud over forskning også blive påvirket af produktionserfaringen i den enkelte virksomhed eller produktionserfaringen i branchen. Ved teknologiske fremskridt i form af learning-by-doing vil produktionsomkostningerne aftage i takt med, at den samlede (historiske) produktion vokser.

... kan være positiv eksternalitet

Hvis produktionsomkostningen falder som følge af øget produktion i *hele* branchen, vil den enkelte virksomhed ikke tage højde for de positive produktivitetsevinster, der er for andre virksomheder i branchen ved øget produktion. En sammenhæng fra branchens produktion til den enkelte

virksomheds omkostningsniveau kan f.eks. indtræffe ved, at medarbejdere skifter arbejdsplads og tager deres tilegnede viden med. Hvis der derimod udelukkende er learning-by-doing inden for de enkelte virksomheder (dvs. produktionsomkostningen falder i takt med virksomhedens egen produktionserfaring i stedet for branchens produktion) vil virksomheden tage højde for dette i sin egen tilrettelæggelse af produktionen. I så fald er der ikke en positiv eksternalitet.

Netværkseffekter

Der findes også såkaldte netværkseffekter, der er beslægtet med learning-by-doing, og som leder til en form for stor-driftsfordele relateret til antallet af forbrugere af bestemte teknologier eller produkter. For eksempel vil det være mere attraktivt at have en elbil, når der er mange andre, som også har elbiler, fordi det giver flere muligheder for at "tanke" elektricitet eller skifte batteri. Learning-by-doing er relateret til produktionsprocessen, mens positive netværkseffekter er relateret til forbruget af en bestemt teknologi.

Regulering

Uden regulering

De forskellige markedsfejl leder uden regulering til et uhensigtsmæssigt højt niveau af CO₂-udledning, et for lavt niveau af privat forskning og en for lav produktion i brancher med learning-by-doing eksternaliteter.

Udvikling af vedvarende energi påvirkes af flere markedsfejl

Uden regulering i form af CO₂-afgifter og generelle subsidier til forskning er teknologiudviklingen i vedvarende energi særlig understimuleret, fordi flere markedsfejl har negativ effekt på teknologiudviklingen. Det vil sige, at der både mangler et incitament til at mindske udledningen af CO₂ og til at forske (inden for udviklingen af vedvarende teknologi såvel som inden for andre teknologier).

Forskel mellem teknologier

Betydningen af markedsfejlene er ikke ens for alle teknologier. Der vil således i et vist omfang altid være et marked for udviklingen af teknologi, som mindsker energiforbruget ved en given aktivitet (f.eks. mere energiøkonomiske transportmidler), fordi dette giver brugerne direkte økonomiske besparelser. Incitamentet til udvikling af energibesparende teknologi i fravær af CO₂-regulering vil dog være mindre end optimalt. Omvendt vil der ikke være et marked for

udviklingen af “end-of-pipe” teknologier, som reducerer udledningen af CO₂ (f.eks. slutrensning og “carbon capture and storage”-teknologi) med mindre, der er regulering, som målrettet tilskynder til mindre udledning.

CO₂-afgift

Regulering af CO₂-udledningen ved energiforbrug kan ske ved en afgift på CO₂, jf. kapitel III, som indeholder en analyse af beskatning af energi. En sådan afgift giver udlederne et incitament til at reducere udledningen, f.eks. ved at anvende teknologier, der forurener mindre. En oversigt over hensigtsmæssig regulering af forskellige typer markedsfejl er givet i tabel II.2.

Tabel II.2 Teknologi, markedsfejl og regulering

Case	Markedsfejl	Regulering	Bemærkninger
CO ₂ -udledning	Negativ miljøeksternalitet	CO ₂ -afgift eller omsættelige kvoter	Incitament til at udvikle og anvende miljøvenlig teknologi
Grundforskning	Offentligt gode (ikke ekskluderbart)	Offentlig produktion	Ingen privat produktion pga. ikke ekskluderbarhed og stor usikkerhed
Anvendt forskning	Positiv spillover til andre virksomheder (delvis ekskluderbart)	Subsidium til forskning	Udligne forskel mellem privat- og samfundsøkonomisk afkast
Produktion af ny teknologi	Learning-by-doing eksternalitet	Subsidium til produktion (midlertidigt)	Ved learning-by-doing på brancheniveau (ikke al ny teknologi)
Forbrug af ny teknologi	Positiv netværks-eksternalitet	Subsidium til forbrug (midlertidigt)	Gælder kun nogle typer ny teknologi

Offentlig forskning	Støtte til forskning kan ydes via forskellige kanaler. For det første udføres forskning af mere generel og grundlæggende karakter i offentligt regi på universiteter mv. Sammenlignet med forskningen i den private sektor har denne forskning ofte karakter af grundforskning, som er et offentligt gode med særlig grad af ekskluderbarhed. Denne forskning ville næppe kunne realiseres på et privat marked uden betydelige subsidier, og grundforskning er ofte en forudsætning for højt kvalificeret undervisning på højere læreanstalter.
Privat forskning	For det andet kan der gives støtte til forskning i private virksomheder, f.eks. generel (dvs. ikke formålsbetinget) støtte til privat forskning, som det blev anbefalet i Det Økonomiske Råd (2003). Der findes ikke en sådan generel støtte til privat forskning i Danmark, men der eksisterer forskellige programmer og ordninger, som støtter virksomhedernes forskning i forhold til forskellige målsætninger, f.eks. støtte til innovationskonsortier og støtte til ansættelse og uddannelse af forskere, jf. afsnit II.2.
Problemer ved at udforme støtte til privat forskning	Forskel mellem det privatøkonomiske og det samfundsøkonomiske afkast af privat forskning tilsiger, at man bør støtte den private forskning. Støtte til forskning kan enten tage form af generel støtte, f.eks. gennem et skattefradrag for udgifter til forskning, eller som tilskud til enkeltprojekter. Det er dog ikke problemfrit at udforme støtte til privat forskning. For det første bør der tages højde for omkostningerne ved at administrere en støtteordning herunder omkostningerne ved at rejse et skatteprovenu. For det andet er der en risiko for, at virksomheder omfakturerer deres udgifter, så de kategoriseres som "forskning". Endelig vil forskellige modeller for støtte have forskellige effekter på forskningen. Støtte gennem fradragmodellen vil sandsynligvis resultere i projekter med højere privatøkonomisk afkast, men ikke nødvendigvis det højeste samfundsøkonomiske afkast. I tilskudsmodellen kan man i princippet vælge projekter ud fra deres samfundsøkonomiske afkast, men det forudsætter en god mekanisme til at sammenligne projekter og udvælge de bedste.

Patentregler	Endelig findes juridisk regulering i form af patentregler. Patentregler sikrer et incitament til forskning, da patent-systemet giver udvikleren de kommercielle rettigheder i patentperioden, jf. afsnit II.2. Patentregler har imidlertid den ulempe, at de samtidig giver udvikleren monopol i patentperioden. Det medfører, at det udviklede produkt eller den udviklede teknologi kan sælges til en relativ høj pris. Den nye teknologi bliver i så fald ikke udnyttet i det samfundsøkonomisk optimale omfang. Alligevel er det sandsynligvis hensigtsmæssigt at have et patentsystem som en del af den samlede regulering, fordi det på effektiv vis spænder profitmotivet for den teknologiske udvikling.
Learning-by-doing og subsidier til produktion	Det kan være hensigtsmæssigt at subsidiere produktionen i virksomhederne, hvis der er en eksternalitet forbundet med learning-by-doing på brancheniveau. Stordriftsfordele af denne karakter er mest relevante ved produktion med anvendelse af nye teknologier, idet learning-by-doing gevinsterne må forventes at aftage over tid, når produktionsteknologien er blevet velkendt. Subsidiere af produktion med ny teknologi ud fra et argument om learning-by-doing må således forventes kun at være hensigtsmæssig i en overgangsperiode.
Netværkseffekter og subsidier til forbrug	Hvis der er positive netværkseffekter forbundet med forbruget af en given teknologi, kan det være hensigtsmæssigt at subsidiere forbruget af pågældende teknologier eller produkter. Et eksempel er de midlertidige afgiftsfritagelser for elbiler, som findes i Danmark.
Målsætning for vedvarende energi som argument for subsidier?	Et andet argument for at give produktionssubsidier er ønsket om at opnå et givet mål for produktionen af bestemte varer. Det er f.eks. tilfældet for vedvarende energi, hvor målsætningen er, at vedvarende energi skal udgøre 30 pct. af det samlede energiforbrug i 2020. Generelt er sådanne delmål ikke hensigtsmæssige i forhold til at nå en samlet CO ₂ -reduktion billigst muligt. En høj pris på CO ₂ -udledning vil i sig selv bidrage til at øge andelen af vedvarende energi. Hvis man alligevel ønsker at nå delmålet, kan det være nødvendigt at give et produktionssubsidium, jf. kapitel III.

Ikke argument for ekstra støtte til energiforskning, hvis afgift på CO₂

Hvis der er CO₂-afgifter (eller omsættelige CO₂-kvoter) på et hensigtsmæssigt niveau, så markedspriserne afspejler de samfundsøkonomiske omkostninger ved brug af fossile brændsler, vil den private sektors forskning i vedvarende energi og teknologi, der udleder mindre CO₂, ikke være specielt understimuleret i forhold til anden privat forskning. I givet fald er der ikke et oplagt argument for at give støtte øremærket specielt til privat energiforskning frem for generel støtte til privat forskning, jf. f.eks. Popp mfl. (2009) og OECD (2010b). Tilsvarende er der heller ikke noget godt argument for øremærket støtte til privat miljøforskning, hvis der er målrettede miljøafgifter. Der kan derimod være et argument for særlig støtte til f.eks. energiforskning, hvis der er større spillover-effekter af energiforskning sammenlignet med anden forskning. Dette undersøges nærmere i afsnit II.4.

Højere energipriser leder til induceret innovation

Årsagen til, at man som udgangspunkt ikke behøver at give særlig støtte til privat forskning i teknologi, der udleder mindre CO₂, er, at en CO₂-afgift i sig selv giver et incitament til at udvikle og anvende ny teknologi. Det er således relativt veldokumenteret i internationale analyser, at energi- eller miljøregulering leder til øget forskning inden for energi- eller miljøteknologi. I den økonomiske teori introducerede John R. Hicks allerede i 1932 hypotesen om, at ændringer i priserne på input leder til "induceret innovation", som mindsker brugen af det dyrere input. Inden for de sidste årtier har en række empiriske undersøgelser af forskning og innovation inden for energi og miljø bekræftet ideen om, at øgede priser og regulering på forurenende input leder til teknologisk udvikling, der har til formål at erstatte det fordyrede input. Et tidligt eksempel er Newell mfl. (1999), som viste, at øgede energipriser og offentlig regulering var med til at påvirke udviklingen af energi-effektive apparater. Et andet fremtrædende eksempel er Popp (2002), som undersøgte sammenhængen mellem udviklingen i energipriserne og innovationen inden for en række energirelaterede teknologier. Popp fandt en signifikant positiv sammenhæng mellem energipriser og antallet af amerikanske patenter inden for energiteknologi svarende til en langsigtet elasticitet på 0,35, dvs. at en stigning i energiprisen på en pct. fører til en stigning i antallet af energipatenter på 0,35 pct.

Energi- og miljøafgifter fremmer ren teknologi ...

Nyere analyser af den internationale udvikling i antallet af patenter inden for vedvarende energi og forebyggelse af klimaforandringer bekræfter, at energi- og miljøregulering har sat skub i teknologiudviklingen. Endvidere er der tegn på, at innovationen frem til 1990'erne primært var drevet af udviklingen i energipriserne, mens en stigning i innovationen specielt i 00'erne i højere grad synes at være drevet af øget brug af miljø- og klimapolitiske reguleringer, jf. Dechezleprêtre mfl. (2010) og Johnstone mfl. (2010). Oversigter over øvrige undersøgelser af sammenhængen mellem energipriser, regulering og teknologisk udvikling findes i OECD (2010a), OECD (2010b) og Ambec mfl. (2010). Disse viser, at øgede priser eller miljøregulering ofte leder til teknologisk udvikling.

... og mindsker teknologiudvikling for forurenende teknologier

Regulering, som understøtter udviklingen af miljøvenlig teknologi, kan endvidere medvirke til at gøre det mindre rentabelt at forske inden for konkurrerende, forurenende teknologier. Det vil på sigt bidrage til at gøre miljøvenlige teknologier mere konkurrencedygtige i forhold til forurenende teknologier, jf. Gerlagh (2008). Dette synspunkt understøttes af en empirisk analyse af fortrængning ved øget forskning inden for vedvarende energi i USA. Undersøgelsen tyder således på, at den øgede energiforskning har mindsket anden forskning, men også på at reduktionen primært er sket inden for forskning i konventionel energi-produktion, jf. Popp og Newell (2009).

Mindsker de langsigtede omkostninger

Implikationen af induceret teknologisk udvikling er, at CO₂-afgifter ikke alene mindsker udledningen af CO₂ på kort sigt ved at gøre udledningen dyrere, men også leder til teknologiudvikling, som gør det nemmere og billigere at mindske CO₂-udledningen på langt sigt. Dette vil have betydning for niveauet af CO₂-afgiften, som er nødvendig for at nå et givet reduktionsmål. Når en CO₂-afgift leder til "induceret innovation", er det ikke nødvendigt med en ligeså høj afgift som i en tænkt situation, hvor en afgift ikke påvirker den teknologiske udvikling, jf. Goulder og Mathai (2000) samt Gerlagh (2008). Intuitivt svarer dette til, at effekten af en afgift er større på langt sigt, fordi prisstigningen på sigt

giver ændrede teknologiske muligheder, som gør det lettere at substituere væk fra de forurenende input.⁸

Langsigtet stabil politik fremmer innovation

For at CO₂-afgifter leder til innovation, er det en vigtig præmis, at afgiften forventes at være til stede i lang tid. Det vil være tilfældet for afgifter, som er motiveret og understøttet af en troværdig, langsigtet politisk forpligtelse til at reducere CO₂-udledningen, jf. OECD (2010b). Indgåelse af en langsigtet og forpligtende international klimaaftale kunne derfor give et vigtigt incitament til at forske i CO₂-reducerende teknologier.

Energiforskning i stedet for CO₂-afgift?

Ikke altid muligt at beskatte udledning

Det er hensigtsmæssigt at begrænse udledningen af drivhusgasser ved brug af CO₂-afgifter eller tilsvarende regulering, f.eks. omsættelige kvoter. Der kan imidlertid være forskellige begrænsninger, som betyder, at det ikke er muligt at pålægge en CO₂- eller miljøafgift af den rette størrelse. For nogle miljøeffekter er det teknisk vanskeligt at beskatte udledningen direkte, og der kan være problemer med at lægge afgifter på nogle varer på grund af hensyn til lækage (f.eks. udflytning af CO₂-intensiv produktion) eller grænsehandel (f.eks. benzin og diesel).

Kombination af CO₂-afgift og subsidier til forskning bedst

Det er dyrere at nå en given CO₂-reduktion med kun ét instrument sammenlignet med en situation, hvor det er muligt at kombinere CO₂-afgifter med subsidier til forskning. En række undersøgelser har belyst effekten på teknologisk udvikling og samfundsøkonomisk velfærd af henholdsvis en CO₂-afgift og støtte til forskning i situationer, hvor disse instrumenter ikke begge er til rådighed, jf. boks II.4.

- 8) Resultatet om lavere påkrævede miljøafgifter ved induceret teknologisk udvikling er stærkest, når man skal nå en eksternt fastlagt miljømålsætning. Da induceret teknologisk udvikling gør det billigere at mindske udledningen, kan det lede til et ønske om at nå en mere ambitiøs miljømålsætning (svarende til en afvejning af marginal omkostning og marginal gevinst ved reduktion). Hvis den marginale gevinst kurve er aftagende – som det normalt antages – vil den optimale miljøafgift altid være lavere, når man sammenligner en situation uden induceret teknologisk udvikling med en situation med induceret teknologisk udvikling, jf. Goulder og Mathai (2000).

CO₂-afgift er isoleret set det bedste instrument

Hvis man kun kan anvende ét politikredskab, så er en CO₂-afgift generelt det instrument, som det ifølge disse undersøgelser er mest hensigtsmæssigt at anvende. Det skyldes, at en CO₂-afgift både giver et målrettet incitament til at mindske CO₂-udslippet på kort sigt og samtidig giver incitament til forskning i teknologier med mindre eller ingen CO₂-udledning.

Støtte til forskning ikke særlig effektiv uden CO₂-afgift

Forsknings- eller produktionssubsidier til vedvarende energi synes at være dyre virkemidler, hvis de står alene. Forskningsubsidier eller produktionssubsidier til vedvarende energi kan således ikke sættes i stedet for en CO₂-afgift. Intuitionen bag dette er, at selv om støtte til forskning i energi- og miljøteknologi kan bidrage til at udvikle renere teknologi, så er CO₂-afgifter en forudsætning for, at virksomheder og forbrugere ønsker at bruge den renere teknologi. Ligeledes virker støtte til forskning i vedvarende energi primært, hvis efterspørgslen efter vedvarende energi støttes gennem regulering. Et subsidium til forskning i vedvarende energi vil på sigt bidrage til at sænke omkostningen ved at producere vedvarende energi. Men modsat en CO₂-afgift vil et sådan øremærket subsidium ikke på kort sigt bidrage til at få forbrugerne eller forsyningssektoren til at skifte over mod brændsler med lavt CO₂-indhold. Derved bliver reduktionsbehovet større på længere sigt. Det gør det nødvendigt med en relativ høj støtte til at udvikle fremtidig teknologi sammenlignet med en situation, hvor dele af reduktionen i CO₂ også sker på kort sigt via en afgift på CO₂, jf. Schneider og Goulder (1997), Popp (2006) og Fischer og Newell (2008).

I boksen gennemgås hovedresultater fra tre centrale internationale modelanalyser af forskellige politikinstrumenter til at opnå reduktion af CO₂-udledningen. Modellerne er dynamiske generelle eller partielle ligevægtsmodeller med endogen teknologisk udvikling. Den endogene teknologiske udvikling afhænger af incitamentet til forskning i forskellige teknologier, positive spillover-effekter af forskning samt i den ene af modellerne af learning-by-doing.

Schneider og Goulder (1997) bruger en CGE model for den amerikanske økonomi til at analysere omkostningerne ved en 15 pct. reduktion i CO₂-udledningen ved brug af kombinationer af CO₂-afgift, generelle subsidier til forskning og subsidier øremærket til forskning i CO₂-reduktion. En kombination af en CO₂-afgift og generelle subsidier til forskning er den samfundsøkonomisk billigste måde at nå reduktionsmålsætningen. Anvendes udelukkende en CO₂-afgift er omkostningen knap 30 pct. højere. Hvis der i stedet udelukkende anvendes øremærkede subsidier til forskning i CO₂-reduktion, er omkostningen 10 gange højere end ved kombinationen af CO₂-afgift og generelle subsidier til forskning. Det vil sige, at øremærkede subsidier til forskning isoleret set er et relativt dårligt instrument sammenlignet med en CO₂-afgift. Anvendes en kombination af CO₂-afgift og øremærkede subsidier til forskning i CO₂-reduktion fås en omkostning, der er godt 30 pct. højere end kombinationen af CO₂-afgift og generelle subsidier til forskning. Det vil sige, at generelle subsidier til forskning er bedre end øremærkede subsidier.

I Popp (2006) foretages en lignende analyse baseret på den såkaldte ENTICE-BR model, som er en videreudvikling af Nordhaus DICE model. I modellen medtages en eksplicit bestemmelse af niveauet for forskning og udvikling både i øget energieffektivitet (dvs. lavere energiforbrug pr. produceret enhed) og forskning i CO₂-frie energiteknologier. Den højeste velfærdseffekt opnås ved kombineret brug af CO₂-afgift og subsidier til forskning. Anvendes udelukkende en optimal (second best) CO₂-afgift opnås en velfærdsgevinst svarende til 95 pct. af den optimale kombination af instrumenter. Anvendes udelukkende et optimalt (second best) subsidium til forskning opnås kun 11 pct. af gevinsten ved den optimale kombinerede politik. Dette indikerer igen, at subsidier til forskning ikke er et godt alternativ til en hensigtsmæssig CO₂-afgift.

I Fischer og Newell (2008) opstilles en mikroøkonomisk model med henblik på at sammenligne effekterne af forskellige typer af regulering. I modellen kan omkostningerne ved vedvarende energi sænkes enten ved øget forskning i vedvarende energi eller gennem learning-by-doing ved produktion af vedvarende energi.

Der er således tre markedsfejl i modellen: 1) CO₂-udledning, som tilsiger en CO₂-afgift, 2) positive videnskabskald, som tilsiger subsidiering af forskning, og 3) learning-by-doing ved produktion af vedvarende energi, som tilsiger subsidiering af produktionen af vedvarende energi. Modellen bruges til at beregne omkostningen ved at sænke CO₂-udslippet ved elproduktionen i USA med omkring 5 pct. Konklusionen er, at CO₂-reduktionen opnås mest hensigtsmæssigt med en kombination af en CO₂-afgift, et forskningssubsidium og et produktionstilskud til vedvarende energi. Hvis man kun kan anvende ét politikredskab, er en CO₂-afgift eller omsættelige CO₂-kvoter det instrument, som giver den ønskede CO₂-reduktion til den laveste samfundsøkonomiske omkostning. Bruges i stedet et produktionssubsidium til vedvarende energi bliver den samfundsøkonomiske omkostning ca. 2½ gange højere. Produktionssubsidiet til vedvarende energi giver modsat CO₂-afgiften ikke forbrugerne noget incitament til at mindske elforbruget, da subsidiet til vedvarende energi bidrager til at sænke prisen på el. Endvidere giver produktionssubsidiet til vedvarende energi ikke producenter, der fremstiller elektricitet på konventionel vis, et incitament til at skifte fra brug af brændsler med høj CO₂-udledning (f.eks. kul) til kilder med lavere CO₂-udledning (f.eks. naturgas).

Bruges i stedet subsidier til forskning i vedvarende energi bliver den samfundsøkonomiske omkostning mere end 12 gange højere end omkostningen ved at nå målsætningen ved en CO₂-afgift. Subsidiet til forskning i vedvarende energi virker ved at sænke omkostningerne ved vedvarende energiproduktion på langt sigt. Isoleret set er denne politik imidlertid dyr. Dels fordi den ikke bidrager til at sænke CO₂-udslip på kort sigt, hvilket gør det nødvendigt med en meget stor reduktion på langt sigt. Dels fordi støtte til forskning i vedvarende energi ikke bidrager til, at producenter af ikke-vedvarende energi skifter til brændsler med relativ lav udledning af CO₂. Endelig får forskningssubsidier på lang sigt elektricitetsprisen til at falde, hvilket trækker i retning af, at forbrugerne øger deres efterspørgsel efter elektricitet.

Rangordenen af de forskellige instrumenter (anvendt isoleret) i sådanne typer af modeller vil afhænge af en række konkrete modelantagelser bl.a. vedrørende effekten af CO₂-beskatning på de teknologiske fremskridt, parametre i produktionsfunktionen for frembringelse af ny viden samt antagelser vedrørende størrelsen og den konkrete udformning af spillover-effekter. Man skal derfor være forsigtig med ukritisk at overføre resultater fra amerikanske eller globale modeller til danske forhold. Det er dog et gennemgående resultat, at CO₂-afgifter (eller lignende regulering) isoleret set er et bedre instrument end subsidier til forskning eller subsidier til produktion af vedvarende energi.

Øremærket støtte til energi- eller miljøforskning, når afgifter ikke mulige

Hvis det ikke er teknisk muligt at pålægge en målrettet CO₂- eller miljøafgift, vil der være for lille incitament til at udvikle teknologi, der mindsker udledningen. I så fald kan der argumenteres for øremærkning af forskningsstøtte med henblik på at fremme teknologi, som mindsker pågældende type udledning, jf. Jaffe mfl. (2005a). I tilfældet med CO₂-udledning er det dog teknisk relativt enkelt at udforme en målrettet afgift ved at fastlægge denne i forhold til CO₂-indholdet i de fossile brændsler. Til sammenligning er det vanskeligere at pålægge målrettede afgifter på udledningen af ikke-energi-relaterede drivhusgasser fra bl.a. landbruget. Det samme gælder for en lang række miljøproblemer, hvor skadesvirkningen af øget udledning varierer geografisk, f.eks. pesticider, kvælstof mv.

Hensigtsmæssig fordeling af støtten til energi- og miljøforskning?

Det fremgik af afsnit II.2, at der har været en stigning i andelen af offentlige forskningsmidler rettet mod energiforskning. Endvidere er midlerne til energiforskning ikke rettet mod forskning inden for ikke-energi-relaterede udledninger af drivhusgasser, ligesom andelen af forskningsmidler rettet mod andre miljøproblemer set over en 10-årig periode er faldet. Det er tvivlsomt, om det er hensigtsmæssigt at mindske andelen af forskning på områder, hvor der på grund af manglende muligheder for at pålægge målrettede miljøafgifter mangler et incitament til at udvikle mere miljøvenlig teknologi.

Øremærket grøn forskning versus generel støtte til grundforskning

Analyserne tyder også på, at det på langt sigt er mere hensigtsmæssigt med generelle forskningssubsidier end forskningssubsidier øremærket til vedvarende energi, jf. boks II.4. Dette skal ses i lyset af, at der forventes positive spillover-effekter ved alle typer forskning, både forskning i miljøvenlig teknologi og forskning i anden teknologi. Hvis støtten til forskning øremærkes til bestemte teknologier, er der en risiko for, at der ikke gennemføres så meget forskning inden for andre teknologier, selv om det samfundsøkonomiske afkast er højere. Dette skyldes bl.a., at udbuddet af højtuddannede vidensmedarbejdere er begrænset på kort og muligvis langt sigt, således at øget forskning inden for eksempelvis vedvarende energi mindsker anden forskning, jf. Popp og Newell (2009). Hvis der er lavere samfundsøkonomisk afkast ved forskning i vedvarende

energi sammenlignet med anden forskning, kan dette lede til lavere vækst og dermed lavere samlet velfærd på langt sigt. Dette er uddybet i boks II.5.

Midler til grundforskning

Som beskrevet giver CO₂- og andre miljøafgifter virkshederne et incitament til innovation og teknologiudvikling inden for miljøvenlig teknologi. Det er formentlig primært udvikling af næsten markedsmodne teknologier, som fremmes gennem afgifter, mens mere banebrydende forskning i helt nye teknologier ikke kan forventes at blive foretaget i den private sektor på grund af den høje risiko og den lange tidshorisont, jf. Johnstone mfl. (2010).

Mere grundlæggende energiforskning?

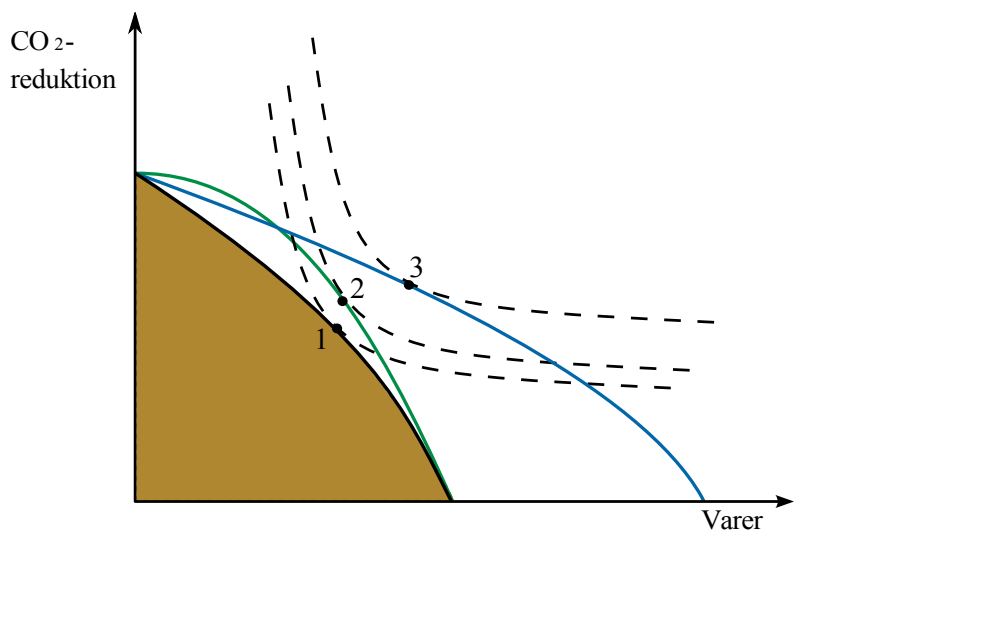
Der kan på den baggrund argumenteres for, at der kan være behov for målretning af forskningsmidler til mere grundlæggende forskning rettet mod at løse klimaproblemerne, jf. OECD (2010b). Dette er ikke sket i Danmark, hvor den øgede støtte til energiforskning har været rettet mod forskning med et kommercielt potentiale i stedet for grundforskning, jf. afsnit II.2. I forhold til fordelingen af midler til forskellige typer grundforskning gælder dog, at man også her skal overveje det alternative udbytte (i bred forstand), hvis midlerne i stedet blev brugt til andre typer grundforskning. Dette er ikke nemt, da udbyttet af grundforskning i sigens natur er usikkert og vanskeligt at opgøre. Da global opvarmning har store og usikre konsekvenser, har der ud fra et forsigtighedsprincip været argumenteret for, at der bør allokeres flere midler til grundforskning, som leder til mindre brug af fossile brændsler eller mindsker omkostningerne ved klimatilpasning.

Teoretiske og modelbaserede økonomiske analyser peger i retning af, at det på langt sigt kan være bedre at have generelle subsidier til forskning frem for subsidier øremærket udvikling af CO₂-besparende teknologi, jf. f.eks. Schneider og Goulder (1997), Popp mfl. (2009) og Varga mfl. (2010).

Intuitionen bag dette resultat er anskueliggjort i figur A, som illustrerer en økonomi, hvor man enten kan fremstille varer (x-akse) eller CO₂-reduktion (y-akse). Det brune område angiver det nutidige produktionsmulighedsområde. De stiplede kurver er samfundets indifferenskurver, som angiver kombinationer af CO₂-reduktion og vareforbrug, hvor samfundets nytte er konstant. Den optimale sammensætning af varer og CO₂-reduktion i forhold til nutidig teknologi er givet ved punkt 1 i figuren.

Forskning kan øge den fremtidige produktivitet. Hvis forskningen alene sker inden for udviklingen af CO₂-reducerende teknologier, vil det gøre det muligt at opnå større CO₂-reduktion ved en given produktion. Dette er illustreret ved den grønne fremtidige produktionskurve. Hvis forskningen i stedet rettes mod at øge produktiviteten for andre varer vil det øge produktionen for en given mængde CO₂-udledning. Det er illustreret ved den blå fremtidige produktionskurve.^a

Figur A



Der opnås størst fremtidig nytte, hvis forskningen sker inden for produktion af varer, hvor der (som figuren er tegnet) er en større effekt på produktiviteten. Der, hvor indifferenskurven tangerer den blå produktionskurve (punkt 3), opnås både et højere forbrug af varer og en større reduktion af CO₂ sammenlignet med situationen, hvor forskningen blev øremærket forskning i CO₂-reduktion (punkt 2). Hvor forskningen bør foretages, afhænger i sidste ende af det samfundsøkonomiske afkast ved forskellige typer forskning og af de fremtidige præferencer.

Figuren illustrerer således, at det ikke er et tilstrækkeligt argument for støtte til forskning i CO₂-reducerende teknologi, at det vil sænke de fremtidige omkostninger ved at reducere CO₂-udledningen. Det bør således overvejes, hvilke produktivitetsgvinster man kunne have opnået, hvis støtten var gået til anden forskning.

a) Der er i figur A forskel på, hvordan forskning i CO₂-reduktion og forskning i almindelig vareproduktion flytter henholdsvis det grønne og det blå fremtidige produktionsmulighedsområde. Det er således antaget, at man ved forskning i almindelig vareproduktion kan producere flere varer, når CO₂-reduktionen er nul (blå kurve). I modsætning hertil er det antaget, at man ikke kan få mere CO₂-reduktion ved grøn forskning, når vareproduktionen er nul (grøn kurve). Årsagen til denne forskel er, at udledningen af CO₂ er forbundet med vareproduktion. Uden nogen vareproduktion overhovedet antages, at CO₂-reduktionen er maksimal (både ved nuværende og fremtidig teknologi).

Samspil mellem forsknings- og miljøpolitik i en lille åben økonomi

Danmark et lille land

Den ovenstående diskussion af samspil mellem miljø- og forskningspolitik tager udgangspunkt i en "stor" økonomi, ligesom resultaterne er baseret på modeller for store økonomier, som USA, EU eller hele verden. I det følgende overvejes, om de generelle resultater ændrer karakter, når man i stedet betragter en lille, åben økonomi som den danske, hvor der ydermere er forskel i reguleringen af CO₂ inden for og uden for kvotesektoren.

National eller global spillover

Det er i den forbindelse afgørende, om viden har karakter af et globalt eller et nationalt offentligt gode, dvs. om de positive spillover-effekter gælder for hele verden eller – i hvert fald delvist – er nationalt afgrænsede.

Når spillover er global

Hvis viden har karakter af at være et globalt offentligt gode, så alle virksomheder i hele verden får den samme gevinst af ny viden, er det i princippet optimalt for et lille land ikke at støtte skabelsen af ny viden i den private sektor, hverken inden for energi eller andre teknologiske områder. I så fald kan det lille land nyde godt af teknologiske fremskridt som foretages i andre lande. I dette tilfælde vil "free-riding" kunne gøre det mindre attraktivt for hvert land at forske, hvilket vil betyde, at den samlede globale forskning bliver for lav. Dette kan imødegås ved indgåelse af internationale aftaler om at nå et hensigtsmæssigt niveau af forskning i alle lande. Hvis spillover-effekterne ved forskning i vedvarende energi og reduktion af CO₂-udledning har international karakter, betyder dette, at incitamentet til forskning bør koordineres på internationalt niveau for at undgå free-riding, jf. Golombek og Hoel (2008).⁹ I den forbindelse er der argumenteret for, at den fælles EU-målsætning for vedvarende energi er hensigtsmæssig, fordi det deler forsknings- eller læringsomkostningerne ved at udvikle den vedvarende energi, jf. Newbery (2010).¹⁰

Spillover (delvis) national på kortere sigt

Det er imidlertid næppe realistisk, at ny viden og teknologier spredes med det samme til hele verden. På langt sigt er viden formentlig noget, der kommer hele verden til gode, men på kort og mellemlangt sigt kan der være barrierer, som betyder, at ny viden i højere grad er nyttig for virksomheder inden for et land. Der er lavet undersøgelser af spillover-effekter af privat forskning i mindre lande, som finder, at én virksomheds forskning har positiv effekt på produktiviteten for andre virksomheder i samme land, jf. f.eks. Bloch og Marino (2008) for et dansk eksempel. Dette er tegn på, at spillover-

- 9) Golombek og Hoel (2008) viser, at hvis der både er en global CO₂-eksternalitet og positive vidensspillovers mellem lande, bør en optimal klimaaftale inkludere aftaler om både CO₂-reduktion og støtte til forskning. Dette er analogt til, at optimal politik inden for et enkelt land bør tage højde for både miljøeksternalitet og positive spillover effekter.
- 10) Dette argument er formentlig baseret på en underliggende antagelse om, at der er europæiske/internationale spillovers ved produktion af vedvarende energi. I så fald vil de enkelte lande ikke være interesserede i at udvikle vedvarende teknologi, men vil hellere free-ride.

effekter er delvist nationale.¹¹ En undersøgelse af spillover-effekter i forhold til vedvarende energi tyder ligeledes på, at disse er delvist nationalt afgrænsede, jf. Braun mfl. (2010).¹²

National spillover

Givet at der er positive nationale spillover-effekter af forskning, ændrer det ikke afgørende på den generelle konklusion fra litteraturen angående rollefordelingen mellem miljø- og forskningspolitiske virkemidler. Det vil sige, at subsidier til forskning alene skal afspejle de positive spillover-effekter ved forskningen, forudsat at der er en passende regulering af CO₂- og andre miljøeffekter, som også bidrager til at skabe et marked for miljøvenlig teknologi. Globale spillover-effekter kan naturligvis fortsat begrunde internationale aftaler om at "løfte forskningen i flok."

Forskning inden for kvotesektoren?

Forsknings- eller produktionsstøtte til vedvarende energi, som leder til lavere CO₂-udledning i den danske kvotesektor inden for den nuværende aftalte kvoteperiode, vil ikke på kort sigt have nogen betydning for den samlede CO₂-udledning, som er givet af det aftalte antal kvoter. Den reducerede CO₂-udledning i den danske kvotesektor vil derfor på kort sigt blot reducere prisen på CO₂-kvoter, hvilket vil gøre det billigere at udlede CO₂ i andre lande. Dette vil give en fordel til virksomheder i de øvrige lande under kvotesystemet, som dermed får billigere kvoter. Støtte til forskning inden for kvotesektoren er alene berettiget, hvis der er positive spillover-effekter ved pågældende forskning, dvs. i forhold til de samme kriterier som al anden privat forskning. Støtte til forskning i kvotesektoren bør derimod ikke ske ud fra argumenter om, at det reducerer udledningen af CO₂.

- 11) Hvis viden øjeblikkelig blev spredt til hele verden som en fuldt global positiv eksternalitet, ville den lille danske mængde af forskning ikke have betydning for den samlede beholdning af viden. I så fald skulle forskningsindsatsen i danske virksomheder ikke have målbar effekt på produktiviteten i andre danske virksomheder.
- 12) Endvidere kan det være en forudsætning for hjemtagelse af ny viden, at virksomhederne selv har højt kvalificerede medarbejdere med forskningskompetencer. Det er dog ikke helt oplagt, om hjemtagelse af viden genererer en positiv national eksternalitet (som berettiger støtte) eller primært er en fordel for den hjemtagende virksomhed (dvs. en aktivitet, som ikke begrunder støtte).

På længere sigt kan forskning og de heraf afledte ændrede reduktionsomkostninger derimod forventes at påvirke de endelige reduktionsmål samt fordelingen mellem kvotesektor og ikke-kvotesektor.

Udvikle eller købe ny teknologi?

Teknologiske fremskridt inden for vedvarende energi sker i et samspil med omverdenen. Alle lande kan drage fordel af, at de ikke selv behøver at udvikle al ny teknologi. Danmark behøver således ikke udvikle al ny teknologi selv, men kan i stedet importere den nye teknologi fra udlandet. Teknologi udviklet i Danmark kan også sælges i udlandet. Det er dog langt fra sikkert, at det land, som udvikler en given teknologi, også på sigt bliver det land, som producerer den nye teknologi. Det kan således være vanskeligt at opbygge varige konkurrencefordele gennem høje produktionstilskud. Angiveligt har høje produktionstilskud til solceller i Tyskland således ikke været succesfulde i forhold til at opbygge en solcelleproduktion i Tyskland. I stedet har bl.a. Kina kunnet drage fordel af de teknologiske fremskridt i bl.a. Tyskland. Trukket skarpt op har tyske elforbrugere ifølge Copenhagen Economics (2010) gennem højere elpriser indirekte betalt for opbygningen af en relativt effektiv kinesisk solcelleindustri, som leverer produkter til lavere priser, end tyskerne selv kan producere til.

Energiforskning og miljøregulering som erhvervspolitik

Grøn forskning for at forbedre konkurrenceevnen

Der er i løbet af de sidste år afsat flere offentlige midler til forskning inden for vedvarende energi og reduktion af CO₂-udledning. En væsentlig del af denne støtte er målrettet virksomheder ud fra et ønske om at udnytte et kommercielt potentiale inden for f.eks. vedvarende energi og energieffektivisering, jf. afsnit II.2. Den øgede støtte synes i nogen grad at være motiveret ud fra hensyn til erhvervslivets eksport og konkurrenceevne, jf. f.eks. Energinet.dk mfl. (2009) og Regeringen (2009). Det fremføres undertiden også, at miljøregulering kan være til gavn for virksomheder og konkurrenceevnen, fordi stram miljøregulering stimulerer innovation, som vil kunne give markedsmæssige fordele. Denne tankegang udspringer af den såkaldte Porterhypotese, jf. Porter og van der Linde (1995).

Porter-hypotesen	<p>Ifølge Porter-hypotesen vil miljøregulering ofte være en fordel for de regulerede virksomheder. Virksomhederne tilpasser sig reguleringen ved at spare på materialer, udvikle og indføre ny teknologi samt ved at udvikle miljørigtige produkter. Dette vil ifølge hypotesen kunne stille de regulerede virksomheder bedre end før reguleringen. Miljøreguleringen skulle således blive en win-win politik, som gavner både miljøet og virksomhedernes konkurrenceevne. Porter-hypotesen udfordrer det gængse økonomiske syn på miljøregulering. Her antages normalt, at miljøregulering har en omkostning for de regulerede virksomheder, og at denne omkostning bør sammenholdes med miljøgevinsten ved reguleringen. Porter-hypotesen forudsætter derimod, at der er miljøinvesteringer eller innovationsmuligheder i virksomhederne, som ikke realiseres uden et "skub" i form af miljøregulering, på trods af at investeringerne allerede er profitable uden reguleringen, jf. Stæhr (2007).</p>
Virksomheder tilpasser sig regulering	<p>Ifølge Porter-hypotesen vil miljøreguleringen få virksomheden til at iværksætte tiltag, som reducerer brugen af de miljøbelastende materialer. Det kan bl.a. ske ved at virksomheden udvikler mindre forurenende produktionsmetoder eller produkter. Her er Porter-hypotesen på linje med mere gængs økonomisk teori, som ligeledes antager, at virksomhederne reagerer på en miljøafgift ved at substituere væk fra afgiftsbelagte og dermed dyrere input. Udvikling eller køb af nye teknologier, som ikke anvender de dyrere afgiftsbelagte, forurenende inputs, er i realiteten en form for substitution. Der er således enighed om, at virksomhederne vil tilpasse produktionen med henblik på, at mindske omkostningerne ved reguleringen. Ifølge Porter-hypotesen vil gevinsterne ved denne tilpasning imidlertid mere end opveje omkostningerne ved reguleringen.</p>
Porter-hypotesen kan ikke gælde generelt	<p>Det er urealistisk at tro, at Porter-hypotesen kan gælde for alle virksomheder til enhver tid. Hvis det var tilfældet, ville miljøregulering kunne lede til en gunstig spirallignende udvikling, hvor stadig skærpede miljøkrav alene ville kunne øge virksomhedernes produktivitet og konkurrenceevne, samtidig med at miljøet forbedres.</p>

Øget international miljøregulering?

Et af argumenterne for Porter-hypotesen er, at reguleringen giver virksomhederne en fremtidig konkurrencefordel på et internationalt marked, hvor miljøhensyn menes at blive en stadig vigtigere parameter, jf. Porter og van der Linde (1995). Dette argument forudsætter, at der faktisk også kommer til at ske lignende former for miljøregulering i andre lande. Det er ikke oplagt, at det altid vil ske. Endvidere kan der argumenteres for, at internationalt konkurrerende virksomheder udmærket selv kan tilpasse deres produktion til forventninger om øget fremtidig miljøregulering eller miljøbevidsthed på de udenlandske markeder.

Miljøregulering leder til innovation ...

Der er gennemført en række undersøgelser, som søger at efterprøve Porter-hypotesen empirisk. Overordnet kan disse undersøgelser opdeles i to kategorier. Dels undersøgelser, som analyserer effekten af miljøregulering på innovation, og dels undersøgelser, som analyserer effekten af miljøregulering på virksomhedens produktivitet, konkurrenceevne eller overskud. Undersøgelser i den første kategori finder, at miljøregulering ofte leder til øget innovation og produktudvikling. Selv om dette er i overensstemmelse med Porter-hypotesen, er det ikke en sammenhæng, som er i modstrid med gængs økonomisk teori, jf. beskrivelsen af induceret innovation tidligere i dette afsnit. Øget innovation i forlængelse af regulering er ikke nødvendigvis udtryk for, at regulering og innovation er en fordel for virksomheden, fordi innovation er en omkostningsfyldt aktivitet. Øget innovation anses ofte for hensigtsmæssig, men innovation bør i denne sammenhæng ses som et middel, ikke et selvstændigt mål.

... ikke til bedre konkurrenceevne

Undersøgelser i den anden kategori finder ikke lige så entydige resultater, men i de fleste tilfælde synes miljøregulering enten at have negativ eller ikke målbar betydning for virksomhedernes produktivitet, konkurrenceevne eller afkast, jf. Ambec mfl. (2010) og OECD (2010b). Alt i alt synes den empiriske litteratur ikke at understøtte hypotesen om, at miljøregulering i sidste ende ligefrem vil være til gavn for de regulerede virksomheder.

Regulering bør være fleksibel

I forbindelse med formuleringen af Porter-hypotesen indgår også en diskussion af, hvordan miljøreguleringen bør udformes, så virksomhederne får mulighed for at reagere

hensigtsmæssigt på reguleringen, f.eks. ved at øge innovationen, jf. Porter og van der Linde (1995). I forhold til valg og design af virkemidler ligger Porter mere på linje med den gængse økonomiske opfattelse. Det fremhæves således, at miljøreguleringen skal være målrettet miljøeffekten, samt at instrumentet bør være fleksibelt – f.eks. i form af en miljøafgift – i stedet for at have karakter af påbud om valg af en bestemt teknologi. Et påbud vil ikke give noget incitament til at udvikle nye teknologier, jf. f.eks. Fullerton mfl. (2008).

Fleksibel regulering gavner de billigste alternativer

En nyere empirisk analyse af teknologiudviklingen inden for fem forskellige former for vedvarende energi (vind, sol, geotermisk varme, havenergi og biomasse/affald) tyder på, at fleksibel regulering især vil lede til innovationer i teknologier som vind og geotermisk energi, der er tæt på at kunne konkurrere med konventionel energi, jf. Johnstone mfl. (2010).

Infant industry argumentet

Der har også været argumenteret for, at man bør beskytte nye vækstindustrier i en overgangsperiode, indtil de nye industrier bliver konkurrencedygtige. Dette er det såkaldte “infant industry” argument.

Beskyttelse og lobbyisme

Infant industry argumentet er nært relateret til forekomsten af – eller forventningen om – learning-by-doing effekter, dvs. at produktionsomkostningerne ventes at falde i takt med øget produktionserfaring. Infant industry tankegangen blev især taget i anvendelse i flere udviklingslande, hvor nye industrier blev beskyttet af toldmure eller subsidier. I mange tilfælde ledte beskyttelsen imidlertid ikke til fremkomsten af nye konkurrencedygtige industrier. Til gengæld har det været fremført, at beskyttelsen ledte til brug af ressourcer til lobbyarbejde med henblik på at bevare begunstigelsen. Der er dermed risiko for, at beskyttelse af nye industrier leder til en mindre effektiv udnyttelse af ressourcerne i stedet for de ønskede dynamiske gevinster, jf. f.eks. Krueger (1974) og Krueger (1980).

Risiko for reguleringsfejl

Learning-by-doing eksternaliteter i forbindelse med anvendelsen af ny teknologi er i princippet et argument for at støtte produktionen i nye industrier. Learning-by-doing eksternaliteter kan forventes at være aftagende i takt med øget produk-

tionserfaring. Derfor bør støtte motiveret ud fra learning-by-doing som udgangspunkt være midlertidig. De eventuelle positive eksterne effekter ved produktion er dog ikke specielt forbeholdt vedvarende energi og miljøvenlige industrier, men kan ligeså vel forekomme i andre industrier, som i ligeså høj grad kan argumentere for støtte. Endvidere vil det ofte være empirisk vanskeligt præcist at adskille, om teknologiske fremskridt afhænger af virksomhedernes egen forskning, mængden af videnskapital eller af learning-by-doing i produktionen. Mange empiriske undersøgelser af effekten af learning-by-doing medtager ikke en eksplicit beskrivelse af forskningsindsatsen i branchen. Derved er der risiko for, at effekten af forskning fejlagtigt tilskrives learning-by-doing. Der er undersøgelser, som peger i retning af, at det meste af de tekniske fremskridt skal tillægges forskning snarere end learning-by-doing, men resultaterne er følsomme, jf. Söderholm og Sundqvist (2007) samt Popp mfl. (2009). Dette gør det vanskeligt i praksis at udforme en hensigtsmæssig regulering i forhold til pågældende typer af positive eksterne effekter eller stordriftsfordele. Der er dermed en risiko for, at reguleringen giver u hensigtsmæssige incitamenter.

**Svært at udpege
morgendagens
vindere**

Der gives ofte selektiv støtte ud fra en tiltro til, at myndighederne kan identificere områder, hvor støtten vil føre til innovation og øget effektivitet. Det er imidlertid tvivlsomt, om dette er realistisk, da myndighederne ikke kan forventes at have detaljeret viden om de enkelte virksomheders udviklingsmuligheder. Der er intet belæg for et synspunkt om, at politikere og embedsmænd er bedre end aktørerne på markederne til at finde frem til "morgendagens vindere".

**Er høj
beskæftigelse og
eksport lig med
succes?**

Selv om støtte til nogle teknologier kan have ledt til udviklingen af en højteknologisk industri med beskæftigelse og eksport, er det ikke nok til at konkludere, at den førte politik har været en succes. Uden støtten vil arbejdskraft, kapital og viden på langt sigt være blevet anvendt i andre sektorer, hvor de potentielt kunne have givet et større samfundsøkonomisk afkast.

Opsummering

Flere virkemidler	Det er nødvendigt at anvende flere virkemidler, hvis man skal nå en målsætning om en væsentlig reduktion af fossile brændsler så effektivt som muligt. Disse virkemidler omfatter blandt andet en afgift på CO ₂ -udledning og generelle subsidier til virksomhedernes forskning.
Markedsfejl og udvikling af renere teknologi	Flere markedsfejl vil have en negativ effekt på udviklingen af mindre CO ₂ -udledende og renere teknologi, hvis der ikke tages højde for disse markedsfejl gennem regulering. Hvis der ikke er CO ₂ -afgifter, vil der ikke være et marked for udviklingen af teknologi, der udleder mindre CO ₂ . En afgift på CO ₂ (eller en kvotepris) er derfor en afgørende forudsætning for udviklingen og anvendelsen af ny teknologi, og dermed afgørende for at nå en given CO ₂ -reduktion til den laveste samfundsøkonomiske omkostning.
Grønne afgifter og støtte til forskning virker bedst sammen	Privat forskning kan ventes at skabe fordele til den forskende virksomhed, men den frembragte viden vil også give positive spillover-effekter til andre virksomheder. Der kan derfor argumenteres for, at den private forskning skal subsidiere. Dette er dog et argument for at subsidiere al privat forskning, og ikke i særlig grad forskning i mindre CO ₂ -udledende eller mere miljøvenlige teknologier, hvis der i øvrigt er CO ₂ - og miljøafgifter på et passende niveau. Øremærkede subsidier til støtte af miljøvenlige teknologier er en dårlig erstatning for CO ₂ - og miljøafgifter.
Er der større spillover-effekter af energiforskning?	Øremærket støtte til f.eks. energiforskning er dog berettiget, hvis der er større positive spillover-effekter af denne forskning sammenlignet med anden forskning. I afsnit II.4 præsenteres en analyse baseret på danske data med henblik på at undersøge, hvorvidt der er højere spillover-effekter af energiforskning sammenlignet med anden forskning.
Ikke let at implementere støtte til privat forskning	Generelt er der udfordringer forbundet med at finde en hensigtsmæssig udformning af støtte til forskning. Ved generel støtte er der f.eks. risiko for, at virksomheder omfakturerer deres udgifter. Hvis støtten alternativt gives som tilskud til enkeltprojekter, kan det være vanskeligt at identi-

ficere de forskningsprojekter, som har det højeste samfundsøkonomiske afkast.

Produktionsstøtte? Støtte til produktion med ny teknologi kan i nogle tilfælde indgå som et yderligere virkemiddel til at reducere afhængigheden af fossile brændsler, men en sådan produktionsstøtte skal være midlertidig og bør være begrundet i en positiv eksternalitet i form af dokumenterede learning-by-doing effekter. Der er dog en betydelig risiko for reguleringsfejl, som leder til forkerte incitament.

Energi- og miljøpolitik som erhvervs politik? Selv om CO₂- og miljøafgifter ofte leder til innovation, er det ikke noget, som generelt kan forventes at forbedre de regulerede virksomheders langsigtede produktivitet og konkurrenceevne. Miljøregulering vil som hovedregel påføre virksomhederne en omkostning. Der er en betydelig risiko ved at lave miljøregulering eller give øremærkede subsidier til privat energi- og miljøforskning ud fra erhvervsfremmende motiver. Det skyldes, at det er tvivlsomt, om myndigheder er bedre end virksomheder til at forudsige de fremtidige vækstområder.

Vigtigt at rette markedsfejl Støtte til bestemte industrier eller teknologier vil i nogle tilfælde kunne føre til øget beskæftigelse og øget eksport i de støttede industrier. En høj beskæftigelse og eksport i grønne industrier er imidlertid ikke ensbetydende med, at en selektiv erhvervs- eller teknologistøtte har været en succes. Uden støtte ville arbejdskraft og kapital blive anvendt i andre sektorer, hvor de kunne have givet et større afkast. Regulering af den private sektor bør rettes mod at korrigere fejl i markedet, ikke mod at favorisere en privat branche frem for en anden.

II.4 Spillover-effekter af virksomheders forskning

Effekten af virksomhedernes forskning I dette afsnit analyseres effekten af forskning på produktiviteten i danske virksomheder. Der ses både på effekten for den enkelte forskende virksomhed og på effekten af denne virksomheds forskning for andre virksomheder, dvs. spillover-effekten. Spillover-effekten er en positiv ekstern

effekt, som gør det samfundsøkonomiske afkast af forskning højere end virksomhedens eget afkast af forskning. Spillover af viden kan ske på en række forskellige måder. For eksempel kan forskere udveksle viden gennem deres netværk, forskere kan skifte arbejdsplads, eller en virksomhed kan bygge videre på viden, som er dokumenteret ved patentering eller indlejret i en anden virksomheds produkter.

Større spillover af energiforskning?

Det vil endvidere blive undersøgt, om der er højere spillover-effekter af virksomhedernes energiforskning sammenlignet med virksomhedernes øvrige forskning. Hvis det er tilfældet, er det et argument for i særlig grad at give øremærket støtte til virksomhedernes energiforskning.

Metode

Opgørelser af spillover-effekt og det samfundsøkonomiske afkast af forskning kan overordnet inddrages i to tilgange, jf. Hall mfl. (2009):

- Casestudie
- Estimation af produktionsfunktion

Casestudie

Casestudier søger typisk at identificere direkte og afledte gevinster for forbrugere og virksomheder af en bestemt type forskning eller bestemte forskningsprojekter. Eksempler på dette er undersøgelser, der har søgt at opgøre afkastet af forskning, som bidrog til at øge landbrugets produktivitet, effekterne af teknologiske fremskridt inden for informationsteknologi eller de samfundsøkonomiske gevinster ved forskellige typer af medicinsk forskning.

Estimation af produktionsfunktion

Tilgangen med estimation af produktionsfunktionen søger at fastlægge effekten af FoU på virksomhedernes produktion eller produktivitet, efter at der er kontrolleret for andre forhold af betydning for produktionens størrelse, f.eks. brugen af arbejdskraft og kapital.

Både vellykket og fejlslagen forskning

I casestudier vurderes bestemte typer af forskning. Det er imidlertid en ulempe ved denne tilgang, at der fokuseres på udvalgte, ofte succesfulde, typer af forskning. Derved kan der nemt fås et for optimistisk billede af effekten af al forskning, fordi man ikke medtager afkastet af mindre succesfuld forskning. I produktionsfunktionstilgangen medtages typisk al privat forskning (og til tider også mål for den offentlige forskning), dvs. både forskning, som har været succesfuld, og forskning, som ikke har ført til noget. Dette giver formentlig et mere retvisende billede af den samlede spillover-effekt og det samfundsøkonomiske afkast af forskning. Det er produktionsfunktionstilgangen, der anvendes her.

Andre undersøgelser

Der er relativt gængse metoder til at undersøge afkast og spillover-effekter af virksomhedernes forskning ud fra produktionsfunktionstilgangen, jf. Hall mfl. (2009). Nyere danske eksempler er Forsknings- og Innovationsstyrelsen (2010a), som alene ser på effekten på produktiviteten for den forskende virksomhed, mens Bloch og Marino (2008) også estimerer spillover-effekter af virksomhedernes forskning, dog uden at skelne mellem f.eks. energiforskning og øvrig privat forskning.

Data

Estimationerne af afkast og spillover-effekter af forskning er baseret på oplysninger om værditilvækst, arbejdskraft, kapital og videnkapital for godt 1.000 forskellige virksomheder observeret over perioden 1999 til 2007. Videnkapitalen er opgjort som virksomhedens akkumulerede investering i ny viden gennem FoU. I opgørelsen af videnkapitalen anvendes oplysninger om virksomhedernes FoU-investeringer tilbage til 1995. En nærmere beskrivelse af de anvendte datakilder er givet i boks II.6.

Samlet og energirelateret spillover

Der er beregnet et mål for spilloverkapitalen for hver virksomhed. Spilloverkapitalen angiver, hvor meget af videnkapitalen opbygget i andre virksomheder, som en given virksomhed potentielt kan anvende i sin egen produktion. Dermed er videnkapitalen et mål for beholdningen af viden genereret af virksomhedens egen forskning, mens spilloverkapitalen er et mål for beholdningen af relevant viden genereret i andre virksomheder. Hvor stor betydning hen-

holdsvis videnkapitalen og spilloverkapitalen faktisk har for virksomhedernes produktion, bliver fastlagt i forbindelse med den økonometriske analyse.

For at kunne undersøge om der er specielle effekter af energiforskning, er der yderligere beregnet et mål for hvor meget af videnkapitalen og spilloverkapitalen i hver virksomhed, som er relateret til energiforskning alene.

Opgørelse af spillover

Spilloverkapitalen for hver virksomhed er beregnet som en vægtet sum af videnkapitalen i andre virksomheder. I litteraturen er anvendt forskellige metoder til at sammenvægte andre virksomheders forskning. Typisk foretages vægtningen ved at finde virksomheder, som er "nær" hinanden i en eller flere dimensioner. Nærhed kan f.eks. være, at virksomheder tilhører samme branche, forsker inden for de samme områder eller fysisk er lokaliseret tæt på hinanden, jf. Hall mfl. (2009) og Griliches (1992).

I den empiriske analyse er spilloverkapitalen beregnet ved en kombination af to mål for nærhed:

- Forskningsprofil
- Geografisk nærhed

Oplysningerne om virksomhedernes forskning er baseret på opgørelser af erhvervslivets forskning og udviklingsarbejde, indhentet af Center for Forskningsanalyse og fra 2007 af Danmarks Statistik. Statistikken kortlægger omfanget af dansk erhvervslivs FoU i form af brugte ressourcer, herunder arbejdskraft og udgifter. I analysen, hvor udgifter til FoU skal opdeles i energi og anden forskning, tages udgangspunkt i indberetninger for årene 1995, 1997, 1998, 1999, 2001, 2003, 2005 og 2007. For disse år foreligger sammenlignelige oplysninger om virksomhedernes udgifter til FoU fordelt på op mod femten forskellige forskningsområder, hvor energiforskning udgør et af områderne.

Alle virksomheder, der har mere end 249 ansatte, virksomheder inden for branchen *Forskning og udvikling* samt virksomheder, der tidligere har indberettet årlige forskningsudgifter på mindst 10 mio. kr., har fået tilsendt et spørgeskema. Derudover er oplysninger om FoU i små og mellemstore virksomheder indhentet på stikprøvebasis ud fra kriterier vedrørende størrelse og branche. Opgørelsen af den danske forskningsaktivitet er altså delvist stikprøvebaseret, og det var frem til 2007 frivilligt at deltage i undersøgelsen. Det betyder, at forskningsoplysninger ikke nødvendigvis findes for samme virksomheder i alle år, hvorfor det benyttede panel er ubalanceret. I analysen er desuden kun medtaget virksomheder, som har oplyst, at de har udført FoU.

Der er indhentet oplysninger om værditilvækst, kapitalapparat og forbrug af arbejdskraft fra administrative registre i Danmarks Statistik for de virksomheder, som har leveret oplysninger om deres FoU. Oplysninger om virksomhedens værditilvækst og kapital er hentet for perioden 1999-2007 fra Regnskabsstatistikken, der bygger på virksomhedsoplysninger indberettet til Danmarks Statistik. Der er i estimationen taget højde for forskelle i arbejdskraftens kvalitet, målt ved forskelle i uddannelsesniveau. Kvalitetskorrigeringen af arbejdskraften er foretaget ud fra en antagelse om, at forskelle i gennemsnitslønninger mellem uddannelseskategorier afspejler forskelle i produktivitet, jf. De Økonomiske Råd (2010) og Timmer mfl. (2007). Til brug for kvalitetskorrigeringen er der indhentet oplysninger om uddannelsesniveau for medarbejdere i virksomhederne. Oplysninger om antal beskæftigede og deres uddannelsesniveau kommer fra den Integreerede Database for Arbejdsmarkedsforskning (IDA).

Der er komplette informationer for i alt 1.028 forskellige virksomheder for perioden 2000 til 2007. I gennemsnit optræder hver virksomhed godt fire gange i det ubalancerede panel.

Forskningsprofil og geografisk nærhed

Nærheden i forskningsprofiler beregnes som korrelationen mellem virksomhedernes fordeling af forskning på forskellige forskningsområder. Tilgangen blev oprindeligt anvendt af Jaffe (1986), men bliver stadig betegnet som "bedste praksis", jf. Bloom mfl. (2007). Nærhed i forskningsprofiler kombineres i analysen med et mål for geografisk nærhed. For geografisk nærhed er det konkret antaget, at virksomhederne kan anvende videnkapital fra andre virksomheder beliggende i den samme region i Danmark.¹³ En del undersøgelser tyder på, at der især er spillover-effekter mellem virksomheder, som er lokaliseret tæt på hinanden. En undersøgelse tyder således på, at der er spillover-effekter mellem virksomheder, som ligger inden for en radius af 100 km, men ikke fra virksomheder, som er lokaliseret i en afstand på mellem 100 km og 200 km, jf. Mairesse og Mulkey (2008). Andre undersøgelser, som tyder på, at spillover er geografisk afgrænset, kan f.eks. findes i Autant-Bernard mfl. (2007), Jaffe mfl. (2005b) og Jaffe mfl. (1993).

Resultater**Positiv effekt af forskning**

Den empiriske model benyttet til analysen og resultaterne af estimationen er nærmere beskrevet i boks II.7. Estimationerne bekræfter, at såvel videnkapitalen som spilloverkapitalen har en positiv effekt på virksomhedens produktion og dermed, at der generelt er positive spillover-effekter ved forskning i private virksomheder.

Ikke højere effekt af energiforskning

Analysen viser også, at der ikke er større spillover fra virksomhedernes energiforskning sammenholdt med deres øvrige forskning. Faktisk synes det modsatte at være tilfældet. Der er således tegn på, at spillover-effekten af virksomhedernes energiforskning kan være lavere end spillover-effekten af virksomhedernes øvrige forskning. Det forekommer på den baggrund ikke hensigtsmæssigt at give særlig støtte til privat energiforskning.

Faldende eksternt afkast af yderligere forskning?

Analysen kan ikke direkte give svar på, hvad der er årsagen til den tilsyneladende lavere spillover-effekt af privat energiforskning sammenholdt med anden forskning. Støtten til

13) Dvs. i den samme af de i alt 5 forskellige regioner i Danmark.

energiforskning må formodes at have øget den private energiforskning. Hvis der er aftagende spillover ved øget forskning på et givet forskningsområde, kan det potentielt forklare den lavere spillover fra energiforskningen.

Analyse baseret på data inden stigning i programmidler til energiforskning

Det skal bemærkes, at den empiriske analyse er baseret på data fra før den store stigning i de erhvervsrettede programmidler til forskning, jf. afsnit II.2. Hvis der er aftagende spillover-effekter af yderligere privat energiforskning, vil dette trække i retning af, at der i dag er endnu lavere spillover-effekter af energiforskning sammenholdt med det, der er fundet i den empiriske analyse beskrevet i boks II.7.

Positiv ekstern effekt ved forskning

Den empiriske analyse understøtter formodningen om, at de enkelte virksomheders forskning har positive spillover-effekter på andre virksomheder. Det betyder, at der er en positiv eksternalitet ved virksomhedernes forskning. Dermed er det samfundsøkonomiske afkast ved de enkelte virksomheders investering i forskning højere end virksomhedens eget afkast af forskning.

Samfundsøkonomisk afkast af virksomhedernes forskning

Ud fra den estimerede model kan det samfundsøkonomiske afkast af en given virksomheds forskning beregnes som summen af virksomhedens eget afkast af forskning tillagt det eksterne afkast af forskning. Det eksterne afkast er givet ved summen af afkastet af forskning for alle øvrige virksomheder, som modtager videnkapital i form af spillover fra virksomhedens forskning, jf. Hall mfl. (2009). Ud fra de estimerede modeller fås et typisk samfundsøkonomisk afkast af forskning på omkring 28 pct. Af dette skal omkring 4 pct.point tilskrives det eksterne afkast via spillover til andre virksomheder, mens ca. 24 pct.point er virksomhedens eget afkast af forskningen. Til sammenligning finder udenlandske undersøgelser typisk et samfundsøkonomisk afkast af privat forskning fra 30 pct. til 50 pct., hvoraf virksomhedens eget afkast ofte udgør mellem 7 pct. point og 25 pct. point. Det vil sige, at de her estimerede afkast er mere moderate sammenlignet med andre udenlandske studier, jf. Hall mfl. (2009) og Popp (2010).¹⁴

14) Beregningen af det privat- og samfundsøkonomiske afkast af forskning er nærmere beskrevet i et arbejdspapir, jf. boks II.7.

Ved estimation af betydningen af egen forskning og spillover for virksomhedernes produktivitet tages udgangspunkt i en Cobb-Douglas produktionsfunktion, jf. Hall mfl. (2009):

$$Y_{it} = Ae^{\lambda t} K_{i,t-1}^{\alpha} L_{it}^{\beta} R_{i,t-1}^{\gamma} S_{i,t-1}^{\eta} e^{\varepsilon_{it}} \quad (1)$$

Fodtegnene i og t henviser til hhv. virksomhed og tid. Y er output (målt ved værditilvæksten), A er en konstant, λ er en teknologiparameter, K er fysisk kapital, L er et mål for arbejdskraft, R er virksomhedens egen videnkapitel (beregnet ud fra virksomhedens investeringer i FoU), og S er spilloverkapitalen. Parametrene α , β , γ og η er outputelastisiteter af de forskellige input i produktionsfunktionen. Målet for L er kvalitetskorrigeret i forhold til fordelingen af arbejdsstyrken i den enkelte virksomhed på forskellige uddannelseskategorier. Endvidere er medarbejdere, som udfører forskning, fratrukket L , da disse allerede indgår i opgørelsen af videnkapital, dvs. der er korrigeret for dobbelttælling.

Spilloverkapitalen er beregnet som en vægtet sum af andre virksomheders videnkapital, hvor vægtningsmatricen er givet ved a_{ji} :

$$S_{it} = \sum_{j \neq i} a_{ji} R_{jt}$$

Der anvendes en vægtningsmatrice, som afspejler nærheden i forskningsprofiler mellem virksomheder. Nærheden i forskningsprofiler beregnes konkret som den parvise korrelation mellem virksomhedernes forskningsområder:

$$a_{ji} = \frac{\sum_{k=1}^K s_{ik} s_{jk}}{\left(\sum_{k=1}^K s_{ik} s_{ik} \right)^{1/2} \left(\sum_{k=1}^K s_{jk} s_{jk} \right)^{1/2}}$$

Her er K antallet af forskningsområder, s_{ik} er andelen af virksomheds i 's forskning inden for forskningsområde k . Der gælder, at $0 \leq a_{ji} \leq 1$, hvor værdien nul svarer til, at virksomhederne har helt forskellige forskningsprofiler, mens værdien 1 angiver, at virksomhederne har identiske forskningsprofiler. Hvis virksomhed i og j er beliggende i forskellige regioner, sættes $a_{ji} = 0$.

Fortsættes

For at vurdere om energiforskning har speciel betydning for afkastet af egen forskning eller for spillover, er der i forhold til standardformuleringen i ligning (1) inkluderet to brøklede. Disse angiver, hvor stor en del af virksomhedens samlede forskningskapital, som vedrører energiforskning (R^E), samt hvor meget af den samlede spillover, som vedrører spillover fra andre virksomheders energiforskning (S^E):

$$Y_{it} = Ae^{\lambda_t} K_{i,t-1}^\alpha L_{it}^\beta (R_{i,t-1})^\gamma \left(\frac{R_{i,t-1}^E + R_{i,t-1}}{R_{i,t-1}} \right)^\rho (S_{i,t-1})^\eta \left(\frac{S_{i,t-1}^E + S_{i,t-1}}{S_{i,t-1}} \right)^\mu e^{\varepsilon_{it}} \quad (2)$$

Udtrykket $(S^E + S)/S$ er mellem 1 (intet energibidrag i spillover-effekten) og 2 (hele spillover-effekten er fra energi). Hvis $\mu > 0$ betyder det, at energiforskning har ekstra positiv spillover-effekt sammenlignet med anden forskning. Hvis $\mu < 0$ betyder det, at energiforskning har mindre spillover-effekt sammenlignet med anden forskning. Udtrykket $(R^E + R)/R$ har en analog tolkning i forhold til virksomhedens egen forskningskapital.

Estimation af model (1) og (2) foretages efter almindelig logaritmisk transformation. Teknologiparameteren estimeres som årsummier (λ_t), mens der tillades virksomhedsspecifikke konstantled (fixed effects model). Resultaterne er vist i tabel A.

Tabel A Estimationsresultater

	Model 1		Model 2	
	--- Parm.	--- t-værdi	--- Parm.	--- t-værdi
Ln (K_{t-1})	0,10**	8,6	0,10**	8,6
Ln (L)	0,74**	36,5	0,74**	36,5
Ln (R_{t-1})	0,14**	12,2	0,13**	12,1
Ln($(R_{t-1}^E + R_{t-1})/R_{t-1}$)			-0,02	-0,2
Ln (S_{t-1})	0,3**	2,9	0,02**	2,3
Ln ($(S_{t-1}^E + S_{t-1})/S_{t-1}$)			-0,34*	-2,0
N obs	4.236		4.236	
R ² samlet	0,9090		0,9092	
R ² within	0,2445		0,2452	
N virks.	1.028		1.028	

Anm.: ** angiver signifikans niveau på 1 pct., mens * angiver signifikans niveau på 5 pct. I estimationerne indgår 1.028 virksomhedsspecifikke konstanter (fixed effects) og årsummier.

Det fremgår af de estimerede parametre til model 1, at både videnkapital og spilloverkapital har en signifikant positiv effekt på virksomhedens produktion. De estimerede produktionselasticiteter til videnkapital og spillover har en størrelse, som svarer nogenlunde til de estimater, der typisk findes i litteraturen, jf. f.eks. Hall mfl. (2009).

Det fremgår endvidere af de estimerede parametre til brøkleddene i model 2, at der ikke er tegn på forskelligt afkast af virksomhedens egen energiforskning sammenlignet med virksomhedens øvrige forskning, idet parameteren til $Ln((R^E + R)/R)$ er insignifikant. Til gengæld er der tegn på, at der er lavere spillover-effekt af energiforskning, idet parameteren til $Ln((S^E + S)/S)$ er signifikant negativ. Der er udført en række supplerende estimationer med alternative specifikationer af spilloverkapitalen (dvs. forskellige metoder til vægtning af forskningen i andre virksomheder) og alternative specifikationer af modellen. Der fås generelt en negativ parameter til $Ln((S^E + S)/S)$, men parameteren er ikke altid statistisk signifikant, dvs. at resultatet med lavere spillover-effekt af energiforskning ikke altid er robust. Samlet er konklusionen derfor, at der *ikke* er tegn på *højere* spillover-effekt af energiforskning. Tværtimod er det mere sandsynligt, at energiforskning ligefrem leder til lavere spillover-effekt.

Estimationerne er nøjere dokumenteret i et arbejdspapir, som kan fås ved henvendelse til De Økonomiske Råds Sekretariat eller via www.dors.dk.

Privatøkonomisk afkast

Det privatøkonomiske afkast på ca. 24 pct. af virksomhedernes investeringer i forskning kan være et overkantskøn. Det skyldes, at der formentlig findes mislykkede investeringer i forskning, som ikke er repræsenteret i data. Det vil f.eks. være tilfældet, hvis en mislykket investering i FoU har ledt til negativ værditilvækst eller ligefrem konkurs. Et privatøkonomisk afkast på ca. 24 pct. forekommer noget højt, også selv om afkastet af forskning skal være relativt højt sammenlignet med andre investeringer, da der må formodes at være betydelig usikkerhed forbundet med at forske og dermed en høj risikopræmie.

Måske højere eksternt afkast	Beregningen af det eksterne afkast af virksomhedernes forskning kan omvendt være et underkantsskøn. I analysen indgår der således ikke virksomheder, som ikke selv har udført forskning. Der er således flere virksomheder, som potentielt kunne have nydt godt af en given virksomheds forskning.
Andre undersøgelser	Der er samlet set nogen usikkerhed om opgørelsen af det privat- og samfundsøkonomiske afkast af virksomhedernes forskning. De ovennævnte afkast svarer imidlertid nogenlunde til det, der tidligere er fundet i litteraturen, om end det eksterne afkast af forskning, dvs. forskellen mellem det samfundsøkonomiske og privatøkonomiske afkast er i den lave ende, jf. Hall mfl. (2009) og Popp mfl. (2009).
Opsummering	
Grundlag	På baggrund af data for godt 1.000 danske virksomheder for perioden fra 1999 til 2007 er der foretaget en empirisk analyse af effekten af egen og andres forskning på virksomhedernes produktion. Det er endvidere undersøgt, om der er højere afkast og spillover-effekter af energiforskning sammenlignet med anden forskning.
Ikke større spillover-effekter af energiforskning	Analysen tyder ikke på, at der er større spillover-effekter og dermed større samfundsøkonomisk afkast af energiforskning sammenlignet med anden forskning. Det modsatte er snarere tilfældet. Det vil sige, at det samfundsøkonomiske afkast af virksomhedernes energiforskning kan være lavere end afkastet af anden privat forskning.

II.5 Sammenfatning og anbefalinger

Udfordringer	Det danske samfund står ligesom resten af verden over for store udfordringer i forhold til at løse klimaproblemerne og nå målsætningen om at reducere afhængigheden af fossile brændsler. Dette vil forudsætte teknologiske fremskridt inden for vedvarende energi. Kapitlet om klima- og forskningspolitik har beskæftiget sig med rollefordelingen mellem miljø- og forskningspolitiske virkemidler, hvis de klimapolitiske mål skal nås billigst muligt.
---------------------	---

Øget støtte til energiforskning	I sidste halvdel af 00'erne er en øget del af de samlede offentlige bevillinger til forskning blevet øremærket til energiforskning. Stigningen er især sket ved en forøgelse af de offentlige programmidler til energiforskning, mens basismidler til grundforskning inden for energi ikke er øget tilsvarende. Fra at udgøre halvdelen af de samlede offentlige bevillinger til energiforskning indtil midten af 00'erne, er programmidlernes andel øget til omkring 90 pct. i 2010.
Især erhvervsrettet energiforskning	Samtidig er fokus i programmidlerne i højere grad blevet rettet mod demonstration, markedsmodning og forskning, der har et umiddelbart kommercielt potentiale, frem for mere grundlæggende forskning og udvikling. Dette synes primært at være motiveret ud fra erhvervspolitiske interesser.
Lavere andel til miljøforskning	Til sammenligning udgør offentlige midler til miljøforskning (udover klimabegrunnet energiforskning) en lavere andel af de samlede offentlige forskningsmidler end i sidste halvdel af 1990'erne, selvom andelen er steget inden for de sidste par år.
Udvikling ikke hensigtsmæssig	Der har med andre ord været en stigende øremærkning af programmidler til energiforskning, og midlerne er samtidig blevet mere erhvervsrettede og har fået mere karakter af erhvervsstøtte. Derimod er der ikke givet væsentligt flere basismidler til egentlig grundforskning inden for energi. Endelig er andelen af offentlige midler til miljøforskning set over en længere periode faldet. Som det fremgår i det følgende er denne udvikling ikke hensigtsmæssig.
Markedsfejl i form af CO₂-udledning og spillover af viden	I stedet for erhvervsfremme bør klima- og forskningspolitikken have fokus på at afhjælpe markedsfejl i form af manglende incitament for private aktører. De væsentligste markedsfejl er den negative eksternalitet fra udledningen af CO ₂ og de positive eksternaliteter i form af spillover-effekter ved privat forskning. De positive spillover-effekter ved en virksomheds forskning er udtryk for, at også andre virksomheder kan få gavn af den nye viden. Udledningen af CO ₂ bør afhjælpes ved en passende CO ₂ -afgift eller lignende regulering som f.eks. omsættelige CO ₂ kvoter, mens markedsfejlen i form af positive spillover-effekter bør afhjælpes ved generelle subsidier til virksomhedernes forskning.

CO₂-afgift giver incitament til at udvikle teknologi

Udenlandske erfaringer peger i retning af, at CO₂- og andre miljøafgifter giver et vigtigt incitament til udvikling af mindre CO₂-udledende og mere miljøvenlig teknologi. Hensigtsmæssigt indrettede miljøafgifter tilskynder således til privat forskning og vil ofte være en forudsætning for, at virksomheder og borgere ønsker at anvende de nye mindre miljøbelastende teknologier. I det omfang, der er korrekt fastsatte afgifter på CO₂, er forskning i udvikling af mindre CO₂-udledende teknologier ikke understimuleret i forhold til anden forskning. Støtte til virksomhedernes forskning bør i givet fald udelukkende afspejle størrelsen af spillover af viden til andre virksomheder. Det betyder, at særlig støtte til privat energiforskning kun er velbegrundet, hvis der er større spillover-effekter af energiforskning sammenholdt med øvrig privat forskning.

Ikke enkelt at udforme støtte til forskning

Man bør dog være opmærksom på, at det ikke er uden problemer at give støtte til privat forskning. Hvis støtten gives helt generelt til al forskning, f.eks. som subsidier eller som ekstra skattefradrag for forskningsudgifter, kan det potentielt give problemer i forhold til omfakturering af udgifter. Hvis støtten gives i form af tilskud til enkeltprojekter, kan det være vanskeligt at identificere projekter med det højeste samfundsøkonomiske afkast.

Ikke større spillover-effekter af privat energiforskning

Der er udført en empirisk analyse af betydningen af forskning og spillover for udviklingen i produktiviteten i danske virksomheder med henblik på at undersøge, om der er større spillover-effekter af energiforskning. Analysen er overvejende baseret på data for en periode inden den nylige markante stigning i støtten til energiforskning. Analysen tyder ikke på, at der er større spillover-effekter af energiforskning. Faktisk synes det modsatte at være gældende. Der er således tegn på, at spillover-effekten af energiforskning ligefrem er lavere end effekten af virksomhedernes øvrige forskning. I så fald kan den øgede støtte til privat energiforskning føre til et lavere samfundsøkonomisk afkast af de investerede midler.

Generelt er der positive spillover-effekter af forskning

Analysen bekræfter til gengæld, at der generelt er positive spillover-effekter af privat forskning. Der er en vis usikkerhed om størrelsen af denne effekt, men resultaterne peger i retning af, at ca. 14 pct. af det samlede samfundsøkonomiske afkast ved virksomheders forskning kan tilskrives spillover af viden mellem virksomheder, og dette formodes endda at være et underkantsskøn. Den resterende del af afkastet tilfalder den udførende virksomhed.

Rigtige incitament

Afgifter på CO₂ og andre udledninger giver også et incitament til at importere renere teknologi udviklet i udlandet. Det bør ikke være et selvstændigt mål, at ny miljøvenlig teknologi skal udvikles i Danmark. Det er derimod centralt, at man når en given miljømålsætning billigst muligt. I nogle tilfælde vil det kunne nås ved at importere og tilpasse teknologi, der er udviklet i udlandet. I andre tilfælde vil det kunne nås, ved at teknologien udvikles i Danmark. En kombination af en passende høj afgift på CO₂ og generel støtte til privat forskning (dvs. ikke øremærket til f.eks. energiteknologi) vil give de rette incitament til enten selv at udvikle eller importere teknologi.

Danmark skal ikke matche støtte til energiforskning i andre lande

Danmark er langt fra det eneste land, der er i gang med at satse på energiteknologi som et potentielt vækstområde. I adskillige andre lande er andelen af de offentlige forskningsudgifter øremærket til energi også steget siden midten af 00'erne. Det kan gøre det mere fordelagtigt fremover at importere energiteknologi fra udlandet, da denne må formodes at blive relativt billig. Det er i hvert fald ikke hensigtsmæssigt at øge støtten til energiforskning ud fra en betragtning om, at man skal "matche" støtten i andre lande.

Målrettet afgift ikke altid mulig

For nogle drivhusgasser kan det være teknisk vanskeligt at pålægge en målrettet afgift i forhold til udledningen eller skadesvirkningen. Det gælder bl.a. for en række ikke energirelaterede emissioner af drivhusgasser i landbruget, som f.eks. udledninger fra dyrehold. Det samme er tilfældet ved en række lokalt varierende miljøproblemer, hvor det også er vanskeligt at pålægge en målrettet miljøafgift, f.eks. lokal luftforurening, pesticidforurening og udvaskning af næringsstoffer til vandmiljøet. I nogle tilfælde kan hensyn til

grænsehandel eller lækage gøre det uhensigtsmæssigt at pålægge en passende høj afgift på CO₂.

Øremærket støtte til privat forskning, kun hvis målrettet miljøafgift ej mulig

Når det ikke er muligt at pålægge en målrettet miljøafgift, mangler der et incitament til at udføre privat forskning, der kan afhjælpe miljøproblemet. I disse tilfælde kan det være hensigtsmæssigt at øremærke forskningsmidler. Man skal dog være opmærksom på, at udvikling af renere teknologi ikke i sig selv er særligt effektiv, hvis der ikke er nogen regulering, som giver incitament til, at den udviklede teknologi tages i brug. Når afgifter ikke er mulige må denne regulering ske på anden måde, f.eks. i form af påbud om at anvende en mere miljøvenlig nyere teknologi. Under alle omstændigheder bør det kun overvejes at give særlig støtte til privat energi- og miljøforskning, når det ikke er muligt at pålægge målrettede miljøafgifter eller gennemføre tilsvarende regulering.

Snarere behov for støtte til miljøforskning

Det er vanskeligt at give et præcist bud på, hvor mange forskningsmidler, det er hensigtsmæssigt at øremærke til miljøproblemer, der ikke kan reguleres med afgifter eller lignende regulering. Det er imidlertid problematisk, at en større del af de offentlige forskningsmidler går til energiforskning, da det er relativt enkelt at lægge en målrettet afgift på de fleste udledninger af drivhusgasser. Set over en 10-årig periode har der til gengæld været et fald i andelen af forskningsmidler til miljøforskning, hvor det i mange tilfælde netop er vanskeligt at pålægge en målrettet miljøafgift. Dette kan meget vel være en uhensigtsmæssig drejning af forskningsstøtten til energi- og miljøområdet. Det bør kun komme på tale at give særlig høj støtte til forskning på områder, hvor det er svært at pålægge en målrettet miljøafgift, som det f.eks. er tilfældet for en række lokale miljøproblemer.

Stor risiko for fejl ved støtte til produktion af ny teknologi

Som et yderligere virkemiddel til at reducere forbruget af fossile brændsler kan det i princippet være hensigtsmæssigt at give støtte til produktion af vedvarende energi med ny teknologi. Produktionsstøtten skal dog være midlertidig og bør være begrundet i en positiv eksternalitet i form af oplagte læringseffekter. Det er imidlertid ofte vanskeligt at fastslå, om produktivitetens fremskridt skyldes læringseffekter, forskning eller tilgang af viden fra f.eks. udlandet. Pres fra

interessegrupper kan også gøre det vanskeligt at afvikle støtte, således at den bliver permanent i stedet for midlertidig. Der er således en stor risiko for reguleringsfejl. Man bør derfor være meget forsigtig med at give produktionsstøtte til ny teknologi.

Støtte til privat energiforskning har karakter af erhvervsfremme

Som nævnt har den øgede offentlige støtte til privat energiforskning især været rettet mod programmer, der har et betydeligt fokus på markedsmodning og på forskning med et umiddelbart kommercielt potentiale, og som derfor har karakter af erhvervsfremme. Afgifter på CO₂ er i sig selv netop med til at skabe et marked for ny teknologi, som er tæt på at kunne konkurrere med konventionelle forurenende teknologier, mens afgifter formentlig har mindre effekt på at fremme mere grundlæggende forskning. Der kan derfor sættes spørgsmålstegn ved hensigtsmæssigheden i det øgede fokus på at markedsmodne energiteknologi frem for at opbygge generel viden på energiområdet gennem øgede bevillinger til mere grundlæggende forskning.

Dansk energiteknologi står allerede stærkt

Generelt synes danske virksomheder at have klaret sig godt inden for udvikling og eksport af energiteknologi og til dels miljøteknologi. Antallet af patentansøgninger inden for især vedvarende energi er relativt højt, og der er tegn på, at patenterne har relativt høj videnskabelig værdi. Det er imidlertid ikke et argument for at give støtte til erhvervsrettet energiforskning. Den energiteknologiske succes i Danmark er tilsyneladende allerede påbegyndt før støtten til energiforskning steg. Der kan således argumenteres for, at de danske virksomheder på egen hånd har været i stand til at udnytte det potentiale, der ligger inden for energiteknologi. Selv hvis selektiv erhvervs- og teknologistøtte bidrager til høj eksport, beskæftigelse og patenter i grønne industrier, er dette ikke ensbetydende med, at støtten er en succes. Uden støtte ville arbejdskraft og kapital blive anvendt i andre sektorer, hvor de potentielt kunne have givet et større afkast.

Man bør ikke favorisere en branche på bekostning af andre

Den øgede støtte til erhvervsrettet energiforskning er formentlig motiveret ud fra en forestilling om, at energiteknologi er et fremtidigt vækstområde. Det er imidlertid tvivlsomt om politikere og embedsmænd er bedre end aktørerne på markedet til at udpege fremtidige vækst-

områder, hvor danske virksomheder vil kunne begå sig med succes. Øremærkede forskningssubsidier til en speciel teknologi eller branche vil altid være på bekostning af andre brancher. Man bør ikke søge at favorisere en bestemt branche frem for en anden, med mindre der er særlig gode argumenter herfor, f.eks. i form af særligt store spillover-effekter. Analyserne i kapitlet har ikke fundet belæg for den særlige støtte til erhvervsrettet energiforskning.

Litteratur

Ambec, S., M.A. Cohen, S. Elgie og P. Lanoie (2010): The Porter Hypothesis at 20: Can Environmental Regulation Enhance Innovation and Competitiveness? (Chairs' Paper) Paper presented at the WCERE conference in Montreal, Canada.

Autant-Bernard, C., J. Mairesse og N. Massard (2007): Spatial Knowledge Diffusion through Collaborative Networks. *Papers in Regional Science*, 86 (3), s. 341-350.

Bloch, C.W. og M. Marino (2008): Spillovers of Public and Business Research and their Impact on Productivity. Working Paper no. 6. The Danish Centre for Studies in Research and Research Policy.

Bloom, N., M. Schankerman og J. Van Reenen (2007): Identifying Technology Spillovers and Product Market Rivalry. NBER Working Paper 13060. National Bureau of Economic Research.

Braun, F.G., J. Schmidt-Ehmcke og P. Zloczynski (2010): Innovation Activity in Wind and Solar Technology: Empirical Evidence on Knowledge Spillovers Using Patent Data. DIW Discussion Papers 993. German Institute for Economic Research, Berlin.

Copenhagen Economics (2010): *Grøn Energi Innovation i Danmark – Erhvervspotentiale fra globale udfordringer*.

De Økonomiske Råd (2010): *Dansk Økonomi, Efterår 2010*.

Dechezleprêtre, A., M. Glachant, I. Hascic, N. Johnstone og Y. Mémière (2010): Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies on a Global Scale: A Study Drawing on Patent Data. *Review of Environmental Economics and Policy*, forthcoming.

Det Økonomiske Råd (2003): *Dansk Økonomi, Forår 2003*.

Energinet.dk, Energistyrelsen/EUDP-sekretariatet, Dansk Energi, Det Strategiske Forskningsrådsprogramkomite for bæredygtig energi og miljø og Højteknologifonden (2009): *Energi 2009. Årsrapport om de danske energiforskningsprogrammer*.

Energinet.dk, Energistyrelsen/EUDP-sekretariatet, Dansk Energi, Det Strategiske Forskningsrådsprogramkomite for bæredygtig energi og miljø og Højteknologifonden (2010): *Energi 2010. Årsrapport om de danske energiforskningsprogrammer*.

Energistyrelsen (2004): *Evaluering af Energiforskningsprogrammet 1998-2002*.

Fischer, C. og R.G. Newell (2008): Environmental and Technology Policies for Climate Mitigation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 55 (2), s. 142-162.

Forsknings- og Innovationsstyrelsen (2010a): *Produktivitetseffekter af erhvervslivets forskning, udvikling og innovation. Innovation: Analyse og Evaluering 1/2010*.

Forsknings- og Innovationsstyrelsen (2010b): *Tal om forskning, 2009. Forskning: Analyse og Evaluering 8/2010*.

Fullerton, D.A., A. Leicester og S. Smith (2008): Environmental Taxation. NBER Working Paper 14197. National Bureau of Economic Research.

Gerlagh, R. (2008): A Climate-Change Policy Induced Shift from Innovations in Carbon-Energy Production to Carbon-Energy Savings. *Energy Economics*, 30 (2), s. 425-448.

Golombek, R. og M. Hoel (2008): Endogenous Technology and Tradable Emission Quotas. *Resource and Energy Economics*, 30 (2), s. 197-208.

Goulder, L.H. og K. Mathai (2000): Optimal CO2 Abatement in the Presence of Induced Technological Change. *Journal of Environmental Economics and Management*, 39 (1), s. 1-38.

Griliches, Z. (1992): The Search for R&D Spillovers. *Scandinavian Journal of Economics*, 94 , s. 29-47.

Hall, B., J. Mairesse og P. Mohnen (2009): Measuring the Return to R&D. NBER Working Paper 15622. National Bureau of Economic Research.

Jaffe, A.B. (1986): Technological Opportunity and Spillovers of R & D: Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value. *The American Economic Review*, 76 (5), s. 984-1001.

Jaffe, A.B., R.G. Newell og R.N. Stavins (2005a): A Tale of two Market Failures: Technology and Environmental Policy. *Ecological Economics*, 54 (2-3), s. 164-174.

Jaffe, A.B., M. Trajtenberg og R. Henderson (1993): Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations. *The Quarterly Journal of Economics*, 108 (3), s. 577-598.

Jaffe, A.B., M. Trajtenberg og R. Henderson (2005b): Patent Citations and the Geography of Knowledge Spillovers: A Reassessment: Comment. *The American Economic Review*, 95 (1), s. 461-464.

Johnstone, N., I. Hascic og D. Popp (2010): Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts. *Environment and Resource Economics*, 45 (1), s. 133-155.

Krueger, A.O. (1974): The Political Economy of the Rent-Seeking Society. *The American Economic Review*, 64 (3), s. 291-303.

Krueger, A.O. (1980): Trade Policy as an Input to Development. *The American Economic Review*, 70 (2), s. 288-292.

Mairesse, J. og B. Mulkey (2008): An Exploration of Local R&D Spillovers in France. NBER Working Paper 14552. National Bureau of Economic Research.

Newbery, D. (2010): A Nuclear Future? UK Government Policy and the Role of the Market. *Economic Affairs*, 30 (2), s. 21-27.

Newell, R.G., A.B. Jaffe og R.N. Stavins (1999): The Induced Innovation Hypothesis and Energy-saving Technological Change. *The Quarterly Journal of Economics*, 114 (3) , s. 941-975.

OECD (2009): *OECD Patent Statistics Manual*.

OECD (2010a): *Climate Policy and Technological Innovation and Transfer: An Overview of Trends and Recent Empirical Results*.

OECD (2010b): *Taxation, Innovation and the Environment*. OECD Green Growth Strategy.

Patent- og Varemærkestyrelsen (2008): *En verden af patenter*.

Popp, D. (2002): Induced Innovation and Energy Prices. *American Economic Review*, 92 (1), s. 160-180.

Popp, D. (2006): R&D Subsidies and Climate Policy: Is there a Free Lunch? *Climatic Change*, 77 (3-4), s. 311-341.

Popp, D. (2010): Innovation and Climate Policy. NBER Working Paper 15673. National Bureau of Economic Research.

Popp, D. og R.G. Newell (2009): Where Does Energy R&D Come From? Examining Crowding Out From Environmentally Friendly R&D. NBER Working Paper 15423. National Bureau of Economic Research.

Popp, D., R.G. Newell og A.B. Jaffe (2009): Energy, the Environment, and Technological Change. NBER Working Paper 14832. National Bureau of Economic Research.

Porter, M.R. og C. van der Linde (1995): Towards a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9 (4), s. 97-119.

Regeringen (2009): *Erhvervsklimastrategi: Globale udfordringer – danske muligheder*.

Schneider, S. og L. Goulder (1997): Commentary: Achieving Low-Cost Emissions Targets. *Nature*, 389 (4), s. 13-14.

Söderholm, P. og T. Sundqvist (2007): Empirical challenges in the use of learning curves for assessing the economic prospects of renewable energy technologies. *Renewable Energy*, 32 (15), s. 2559-2578.

Stæhr, K. (2007): Porter-hypotesen: En miljøøkonomisk blindgyde? *Samfundsøkonomen*, 2007 (5), s. 4-9.

Timmer, M., T.V. Moergastel, E. Stuijvenwold, M. O'Mahony og M. Kangasniemi (2007): EU KLEMS Growth and Productivity account Version 1.0 (PART 1: Methodology). EU KLEMS consortium.

Varga, J., A. Conte, A. Labat og Z. Zarnic (2010): What is the Growth Potential of Green Innovation? An Assessment of EU Climate Policy Options. Paper presented at the WCERE conference in Montreal, Canada 2010.

Webb, C. H. Dernis, D. Harhoff og K. Hoisl (2005): Analysing European and International Patent Citations: A Set of EPO Patent Database Building Blocks. OECD Science Technology and Industry. Working Paper 2005/9.

Økonomi- og Erhvervsministeriet (2010): *Redegørelse om erhvervsstøtte 2010*.