

# Spillover-effekter af danske virksomheders energiforskning og øvrige forskning

Thomas Bue Bjørner

De Økonomiske Råds Sekretariat, E-mail: [tbb@dors.dk](mailto:tbb@dors.dk)

Janne Mackenhauer

De Økonomiske Råds Sekretariat

*SUMMARY: In recent years there has been a drastic increase in public research subsidies earmarked for private energy research in Denmark. The purpose of this article is to investigate whether relatively high subsidies to private energy research can be justified by higher external spillover effects from private energy research compared to other private research. Estimation of spillover effects are carried out using an unbalanced panel of more than a thousand Danish private companies observed over the period 1999 to 2007. Our results suggest that the external rate of return due to external knowledge spillovers account for approximately a seventh of overall social return of private research. We reject that there are higher spillover from private energy research as compared to other types of private research. Instead the results suggest that external spillover effects of energy research may be lower than for other types of private research. This implies that subsidies earmarked for private energy research should not be an element in a first best policy to reduce CO<sub>2</sub>-emission.*

---

## 1. Indledning

Danmark har frem mod 2020 forpligtet sig til at reducere udledningen af drivhusgasser, og der er et ønske om på længere sigt at blive mindre afhængig af fossile brændsler. Teknologisk udvikling inden for vedvarende energi og andre teknologier, der udleder mindre CO<sub>2</sub>, kan gøre det billigere at nå disse mål.

Umiddelbart kan det derfor forekomme fornuftigt, at en stigende del af de offentlige midler til forskning øremærkes til energiforskning. Finanslovsbevillingerne til energiforskning er næsten seksdoblet siden 2003, til godt 900 mio. kr. i 2010. Ud over disse bevillinger finansierer elforbrugerne også energiforskning med omkring 180 mio. kr. via det såkaldte PSO-tillæg (Public Service Obligation) til elprisen. Stignin-

gen i de nationale bevillinger til energiforskning har især haft karakter af forøgelse af de offentlige programmidler, som er gået til tilskud til privat forskning og strategiske forskningsprogrammer. Fra at udgøre omkring halvdelen af den samlede offentlige bevilling 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. De Økonomiske Råd (2011). En stigende del af programmidlerne går til støtte af energiforskning i private virksomheder og synes at være motiveret ud fra erhvervsøkonomiske hensyn, idet energiteknologi vurderes som et fremtidigt vækstområde. I denne artikel præsenteres en empirisk analyse, som belyser, hvorvidt det er hensigtsmæssigt at øremærke støtte til privat forskning på energiområdet.<sup>1</sup>

Forskning og udvikling af vedvarende energi og andre teknologier, der udleder mindre CO<sub>2</sub>, dæmpes især af to markedsfejl, som kan berettiggere regulering. Den første markedsfejl er, at udledning af CO<sub>2</sub> er gratis for udledderne. Hvis der ikke er nogen afgift på udledning af CO<sub>2</sub>, vil der heller ikke være noget incitament til at udvikle og anvende teknologi med lav udledning af CO<sub>2</sub>. Den anden markedsfejl er, at forskende virksomheder ikke får det fulde afkast af deres indsats, fordi der ved forskning typisk er positive spillover-effekter til andre virksomheder, som også kan nyde godt af den nye viden. Der kan korrigeres for disse markedsfejl ved at indføre en CO<sub>2</sub>-afgift (eller omsættelige CO<sub>2</sub> kvoter) og ved at give et tilskud til virksomhedernes forskning svarende til de positive eksterne spillover-effekter ved deres forskning.

En CO<sub>2</sub>-afgift vil i sig selv give et incitament til at forske i renere teknologier, hvilket er dokumenteret i en række empiriske undersøgelser, jf. f.eks. Popp (2002), Newell mfl. (1999) og Johnstone mfl. (2010). Med en optimal CO<sub>2</sub>-afgift er privat forskning i teknologier, som udleder mindre CO<sub>2</sub>, ikke specielt understimuleret i forhold til anden privat forskning. I så fald er der ingen grund til at øremærke subsidier til privat forskning på energiområdet, med mindre der er særligt høje spillover-effekter af privat energiforskning sammenlignet med anden forskning, jf. f.eks. Jaffe mfl. (2005a), Popp mfl. (2009) og OECD (2010).

En række undersøgelser har belyst effekten på teknologisk udvikling og samfundsøkonomisk velfærd af henholdsvis en CO<sub>2</sub>-afgift og støtte til forskning i situationer, hvor disse instrumenter ikke begge er til rådighed, jf. Schneider og Goulder (1997), Popp (2006) samt Fischer og Newell (2008). Disse analyser peger i retning af, at forskningsubsidier til vedvarende energi isoleret set er et dyrt virkemiddel, mens en CO<sub>2</sub>-afgift er et betydeligt bedre (second best) virkemiddel, når man kun kan anvende ét instrument til at løse begge markedsfejl. Øremærkede subsidier til energiforskning er så-

---

1. Resultaterne af analysen er anvendt i forbindelse med kapitel II i De Økonomiske Råd (2011). I den forbindelse vil forfatterne gerne takke formandskab og sekretariat for sparring i forbindelse med de præsenterede analyser. Derudover takkes Carter Bloch fra Center for Forskningsanalyse for råd og programkode i forbindelse med beregning af mål for spillovers mellem virksomheder.

ledes et dårligt alternativ til en CO<sub>2</sub>-afgift. Intuitionen bag dette er, at selv om støtte til forskning i energiteknologi kan bidrage til at udvikle renere teknologi, så er CO<sub>2</sub>-afgifter en forudsætning for, at virksomheder og forbrugere ønsker at bruge den renere teknologi.

I denne artikel præsenteres en empirisk analyse af spillover-effekter af danske virksomheders forskning med henblik på at undersøge, om der er større spillover-effekter af privat energiforskning sammenlignet med anden privat forskning. I givet fald vil det være hensigtsmæssigt at give særligt høje subsidier til privat energiforskning. Analysen er baseret på et ubalanceret panel af mere end 1.000 forskende danske virksomheder for perioden 1999 til 2007. Analysen bekræfter, at der er positive interne og eksterne afkast (spillover-effekter) af virksomhedernes forskning målt i forhold til effekten på virksomhedernes værditilvækst. Effekten svarer til et samfundsøkonomisk afkast af forskning på omkring 28 pct., hvoraf omkring en syvendedel kan tilskrives eksterne spillover-effekter til andre virksomheder. Estimationsresultaterne tyder imidlertid ikke på, at der er større spillover-effekter og dermed højere samfundsøkonomisk afkast af energiforskning sammenlignet med anden forskning. Faktisk synes det modsatte at være tilfældet. Der er således tegn på, at spillover-effekten af energiforskning er lavere end spillover-effekten af anden privat forskning. Implikationen af dette er, at det ikke er hensigtsmæssigt at øremærke midler til støtte for privat energiforskning, som sigter mod at mindske udledningen af CO<sub>2</sub>, så længe der er muligheder for at beskatte udledningen af CO<sub>2</sub> på et hensigtsmæssigt niveau.<sup>2</sup>

I den empiriske analyse anvendes overordnet set samme metode til at vurdere effekten af forskning som anvendt i Forsknings- og Innovationsstyrelsen (2010) og Bloch og Marino (2008). I førstnævnte analyse estimeres dog udelukkende effekten af forskning for virksomhederne selv, mens der ikke indgår spillover-effekter. I forhold til disse tidligere danske undersøgelser bidrager vores analyse med en beregning af det eksterne afkast og dermed det samfundsøkonomiske afkast af forskningen på baggrund af de estimerede parametre. Endvidere undersøges, om der er forskelligt samfundsøkonomisk afkast af virksomhedernes energiforskning sammenholdt med anden privat forskning. Endelig korrigeres der i analysen for, at arbejdskraft med forskelligt uddannelsesniveau har forskellig produktivitet. Dette er vigtigt, hvis virksomheder med meget forskning også har mange højtuddannede blandt deres ikke-forskende personale. Uden korrektion for uddannelsesniveau vil der i så fald være en tendens til, at virksomhedernes eget afkast af forskning bliver overvurderet, jf. Hall mfl. (2009).

---

2. Analysen af spillover-effekter vedrører udelukkende effekter af forskning udført i virksomheder. Analysen belyser således ikke, om der er større eller mindre samfundsøkonomisk afkast af offentlig energiforskning sammenholdt med anden offentlig forskning på universiteter mv.

I det følgende afsnit præsenteres den empiriske model. I afsnit 3 beskrives de anvendte data. Estimationsresultater er givet i afsnit 4, og afsnit 5 opsummerer.

## 2. Udgangspunkt for analyse af afkast og spillover-effekter af FoU

Der findes rimelig gængse metoder til at undersøge det privatøkonomiske afkast og spillover-effekter af virksomhedernes forskning, jf. Hall mfl. (2009) samt Hall og Mairesse (1995). I dansk sammenhæng er for nyligt estimeret spillover-effekter af FoU, jf. Bloch og Marino (2008). Inden for denne litteratur tages normalt udgangspunkt i en Cobb-Douglas produktionsfunktion:<sup>3</sup>

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

Fodtegnene  $i$  og  $t$  henviser til hhv. virksomhed og tid.  $Y$  er output (målt ved værditilvæksten),  $A$  er en konstant,  $\lambda$  opfanger teknologiske ændringer over tid i totalfaktorproduktiviteten,  $K$  er fysisk kapital og  $L$  er arbejdskraft.  $R$  er virksomhedens FoU-kapital, som er resultat af egen forskning, og  $S$  (spillover) er et mål for den videnskapital, som virksomheden er i stand til at tilegne sig fra andre virksomheders FoU-kapital. Spillover variabelen for en given virksomhed er beregnet som en vægtet sum af FoU kapitalen i andre virksomheder. Spillover af viden kan forekomme på forskellige måder. For eksempel kan forskere udveksle viden gennem deres netværk, forskere kan skifte arbejdsplads og i den forbindelse tilføre deres nye virksomhed viden, som er kendt i den gamle virksomhed. En virksomhed kan også trække på viden, som er dokumenteret i form af patenter, artikler eller indlejret i en anden virksomheds produkter. Den konkrete beregning af spillover-effekten (dvs. valg af vægte) beskrives senere. Parametrene  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  og  $\eta$  er produktionselasticiteter af de forskellige input i produktionsfunktionen. Konstant skalaafkast i forhold til virksomhedens egne input vil implicere at  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ .<sup>4</sup>

I litteraturen estimeres afkast af forskning typisk under ét og ikke opdelt på forskellige typer af forskning, jf. Hall mfl. (2009). I modsætning til dette testes det i nærværende analyse, om privatøkonomiske afkast og spillover-effekterne er ens for ener-

3. Denne produktionsfunktion kan potentielt kritiseres for at være relativt restriktiv i forhold til f.eks. en CES funktion. Det er dog valgt, at anvende Cobb-Douglas funktionen dels fordi det gør det nemmere at sammenligne resultaterne med tidligere danske og udenlandske studier, og dels fordi det er relativt nemt at udvide modellen, så det på en enkelt måde kan undersøges, om en høj andel af energiforskning har betydning for afkast og spillover-effekter af forskning.

4. I den empiriske litteratur testes/pålægges denne restriktion ofte som en test/restriktion af konstant skalaafkast. Der kan imidlertid argumenteres for, at virksomhedens videnkapital  $R$  i så fald ikke kan tolkes som »viden« i den gængse økonomiske forstand, hvor »viden« er noget, der kan bruges igen og igen (dvs. at viden er et ikke-rivaliserende input i virksomhedens produktion). I de estimationer, der præsenteres i denne artikel, pålægges ingen restriktioner på de estimerede parametre.

giforskning og anden forskning. Hvis dette er tilfældet (eller hvis der er lavere afkast og spillover-effekter af energiforskning), er der ikke nogen speciel grund til at støtte energiforskning frem for anden forskning.

For at vurdere om energiforskning har speciel betydning for afkastet af egen forskning eller for spillover inkluderes to brøkked, der angiver, hvor stor en del af virksomhedens samlede forskningskapital, som vedrører energiforskning ( $R^E$ ), samt hvor meget af den samlede spillover-effekt, som vedrører spillover fra andre virksomheders energiforskning ( $S^E$ ):

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

Udtrykket  $\frac{S^E + S}{S}$  er mellem 1 (intet energibidrag i spillover-effekten) og 2 (hele spillover-effekten er fra energiforskning). Det vil sige, at  $\left( \frac{S^E + S}{S} \right)^{\mu} = 1$ , hvis  $S^E = 0$  eller  $\mu = 0$ . Brøkkedet får således ingen betydning for produktionsfunktionen for virksomheder, hvor der ikke indgår energiforskning i spillover-effekten. 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  $\frac{R^E + R}{R}$  har en analog tolkning i forhold til virksomhedens egen forskningskapital.

Det bemærkes, at parametrene  $\mu$  og  $\varphi$  ikke kan tolkes på samme måde som produktionselasticiteterne ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  og  $\eta$ ), men fortegnet på  $\mu$  og  $\varphi$  afgør om effekten af energiforskning er højere eller lavere end af anden forskning. Tolkningen af  $\mu$  og  $\varphi$  kan bedst illustreres ved et eksempel: Hvis det antages, at  $\mu = 1$  og  $S^E$  udgør 10 pct. af den samlede spillover, bliver  $\left( \frac{S^E + S}{S} \right)^{\mu} = 1,1^1 = 1,1$ . Det svarer til en 10 pct. stigning i den samlede spillover-effekt. Dvs. at der er en procentvis stigning i spillover på  $10\mu$ , når  $\left( \frac{S^E}{S} \right)$  vokser med 0,1 (f.eks. fra 0 til 0,1). Denne tolkning gælder approksimativt for plausible størrelser af  $S^E$  og  $\mu$ .<sup>5</sup>

Modellen estimeres efter almindelig  $\ln$ -transformation:

$$\ln(Y_{it}) = a_B + \lambda_t + \alpha \ln K_{i,t-1} + \beta \ln L_{it} + \gamma \ln(R_{i,t-1}) + \varphi \ln \left( \frac{R_{i,t-1}^E + R_{i,t-1}}{R_{i,t-1}} \right) + \eta \ln(S_{i,t-1}) + \mu \ln \left( \frac{S_{i,t-1}^E + S_{i,t-1}}{S_{i,t-1}} \right) + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

5. Det er tilfældet, hvis  $\mu$  ikke er stor (numerisk mindre end 2) og  $S^E$  udgør en lille del af den samlede  $S$ .

Her er de teknologiske fremskridt over tid i totalfaktorproduktiviteten specificeret som årsummier ( $\lambda_t$ ). Konstantleddet  $a_B$  er specificeret som forskellige konstanter for forskellige brancher. En mere fleksibel specifikation af konstanten fås ved at lade konstantleddet være individuelt ( $a_i$ ) svarende til »fixed effects« modellen, hvor de individuelle konstanter kan kontrollere for uobserveret (tidsinvariant) heterogenitet.

Produktionsfunktionen i ligning (2) er en af flere mulige specifikationer til at undersøge om produktionselasticiteten til forskningsspillover er forskellig for energi sammenlignet med anden forskning. Som supplement til ligning (2) estimeres også følgende variant af en produktionsfunktion:

$$Y_{it} = Ae^{\lambda t} K_{i,t-1}^\alpha L_{it}^\beta R_{i,t-1}^\gamma (S_{i,t-1}^O)^\eta (S_{i,t-1}^E)^\mu e^{\varepsilon_{it}} \quad (4)$$

I stedet for at medtage samlet spillover for de enkelte virksomheder ( $S$ ) er der i ligning (4) medtaget en opdeling af samlet spillover ( $S$ ) i  $S^E$  og spillover fra anden forskning ( $S^O$ ), dvs.  $S = S^E + S^O$ . Det er imidlertid en potentiel ulempe ved ligning (4) i forhold til ligning (2), at ligning (4) ikke i praksis tillader en forskellig elasticitet til virksomhedens egen energiforskningskapital ( $R$ ) i forhold til virksomhedens samlede eller øvrige forskningskapital.<sup>6</sup> På dette punkt er specifikationen i ligning (4) derfor mere restriktiv sammenholdt med ligning (2). Det bemærkes, at tolkningen af parametrene  $\eta$  og  $\mu$  er forskellig i model 2 og 4.

### 2.1. Korrektion for kvalitet af arbejdskraft og double counting

Det er vigtigt, at korrigerer for kvaliteten af arbejdskraft ved beregning af afkast af forskning. Virksomheder med meget forskning kan være virksomheder, som også i øvrigt har mange højtuddannede. Hvis der ikke tages højde for dette, vil der være en tendens til, at virksomhedernes eget afkast af forskning bliver overvurderet, fordi højtuddannede er mere produktive, jf. Hall mfl. (2009). Selv om dette problem er erkendt, er det tilsyneladende ikke standard i analyser af afkast til forskning.<sup>7</sup>

Kvalitetskorrigeringen af  $L$  er baseret på metoden anvendt i De Økonomiske Råd (2010), hvor personer med forskelligt uddannelsesniveau er vægtet i forhold til gennemsnitslønnen for pågældende uddannelseskategori ud fra en antagelse om, at forskellige gennemsnitslønninger afspejler forskelle i produktiviteten/kvaliteten af ar-

6. I princippet kunne  $R$  også opsplittes i to dele ( $R^E$  og  $R^O$ ) i ligning 4. Det er imidlertid kun en lille del af de forskende virksomheder, som har både energiforskning og anden forskning. Derfor ville en sådan version af ligning 4 kun kunne estimeres for et begrænset sample af virksomheder.

7. I Hall mfl. (2009) refereres til tre fransksprogede artikler, som undersøger betydningen af at korrigerer for forskellige kvaliteter af arbejdskraft. Disse finder, at elasticiteten til egen FoU kapital reduceres væsentligt, når der tages højde for forskellige kvaliteter af arbejdskraft. Der korrigeres ikke for kvalitet af arbejdskraft i tidligere danske analyser af effekter af forskningen, jf. i Bloch og Marino (2008) samt Forsknings- og Innovationsstyrelsen (2010).

bejdskraften, jf. f.eks. Timmer mfl. (2007). Der er beregnet gennemsnitslønninger for fem forskellige uddannelseskategorier (lang videregående, mellemlang videregående, kort videregående, faglærte og ufaglærte) inden for hvert år i den betragtede periode. Beregningen af gennemsnitslønninger er foretaget for alle ansatte i enheder med mere end 10 beskæftigede (inklusive virksomheder uden forskning). Konkret er  $L$  vægtet op til ufaglærte (dvs. at en person med lang videregående uddannelse vægter mere end en ufaglært). Mere konkret er det kvalitetskorrigerede arbejdskraftindeks  $L$  beregnet som:

$$L_{it} = \bar{L}_{i0t} + \sum_{f=1}^{F-1} \frac{w_{fBt}}{w_{0Bt}} \bar{L}_{ift} \quad (5)$$

hvor  $f = 0, \dots, F$  er et indeks for arbejdskraftens kvalitet målt ved uddannelsesniveau,  $\bar{L}_{ift}$  er antallet af ansatte med uddannelsesniveau  $f$  i virksomhed  $i$  i år  $t$ . Referencegruppen,  $\bar{L}_{i0t}$ , er ufaglærte, mens  $w_{fBt}$  er gennemsnitslønnen for beskæftigede med uddannelse  $f$  i branche  $B$  i år  $t$ .

Virksomhedens investeringer i FoU består især af udgiften til arbejdskraften, der udfører forskningen (forskere, teknikere og andet). Det er vigtigt at korrigere det anvendte mål for  $L$  for den arbejdskraft, der anvendes til forskning, da arbejdskraften til forskning ellers indgår både i  $R$  og  $L$ . En sådan »double counting« vil kunne give sig udslag i bias i de estimerede parametre, jf. Hall mfl. (2009). Korrektionen for double counting foretages normalt ved at trække antal FoU-årsværk fra det samlede antal årsværk beskæftiget i virksomheden. Da vi har kvalitetskorrigeret antallet af årsværk, skal også antallet af FoU-årsværk kvalitetskorrigeres inden de trækkes fra. Fra de anvendte spørgeskemaundersøgelser om virksomhedernes forskningsindsats kender vi antallet af forskningsmedarbejdere fordelt på »forskere«, »teknikere« og »andet«. Det er antaget, at disse tre kategorier af forskningsmedarbejdere har henholdsvis en lang videregående uddannelse, kort videregående uddannelse (f.eks. laborant) og er faglærte (f.eks. en kontoruddannelse). Variablen  $L$  i modellen er således både korrigeret for kvalitet (uddannelsesniveau) og double counting.

## 2.2. Beregning af FoU kapital og spillover-effekter

Ved estimation af afkastet af FoU (og spillover-effekter) antages normalt, at investeringer i FoU ( $IR$ ) bidrager til at øge beholdningen af videnskapital ( $R$ ). Videnskapitalen beregnes på et givet tidspunkt som en funktion af tidligere års investeringer i FoU ud fra den såkaldte »perpetual inventory method«, jf. Hall mfl. (2009):

$$R_{it} = (1 - \delta) R_{i,t-1} + IR_{it} \quad (6)$$

Analogt er forskningskapitalen relateret til energiforskning beregnet ved:

$$R_{it}^E = (1 - \delta) R_{i,t-1}^E + IR_{it}^E \quad (7)$$

Her angiver  $R_{it}$  videnskapitalen (ultimo) perioden, mens  $\delta$  er afskrivningsraten. Denne er valgt til 15 pct., hvilket typisk anvendes i andre lignende studier.<sup>8</sup> Forskningskapitalen i det første år, hvor vi har observationer for den pågældende virksomhed (1995 eller senere, jf. databeskrivelsen i afsnit 3) baseres på niveauet af investeringen i det pågældende år, samt en antagelse om, at virksomheden i årene inden har haft en konstant realvækst i forskningsudgiften svarende til  $g$ . For virksomheder, der første gang optræder i data i 1995, er den samlede forskningskapital og forskningskapitalen vedrørende energi således opgjort ved:

$$R_{i,95} = \frac{IR_{i,95}}{g + \delta} \quad (8)$$

$$R_{i,95}^E = \frac{IR_{i,95}^E}{g + \delta}$$

Parameteren  $g$  er sat til 7 pct., som svarer til den gennemsnitlige vækstrate i den private sektors samlede reale forskningsudgifter for perioden 1970 til 2001.

Spillover-kapitalen måles normalt ved en vægtet sum af FoU-kapitalen for andre virksomheder, hvor vægtningsmatricen er givet ved  $a_{ji}$ :

$$S_{it} = \sum_{j \neq i} a_{jt} R_{jt} \quad (9)$$

Analogt kan spillover-effekten fra energiforskning beregnes som en vægtet sum af andre virksomheders energiforskning (samme vægtningsmatrice er anvendt):

$$S_{it}^E = \sum_{j \neq i} a_{jt} R_{jt}^E \quad (10)$$

---

8. Den typisk anvendte afskrivningsrate på videnkapital (på 15 pct.) synes at være valgt relativt ad hoc. Efterfølgende undersøgelser har dog vist, at det ikke har stor betydning for beregning af forskningsafkast, om afskrivningen er højere eller lavere, jf. Hall mfl. (2009).



I tidligere undersøgelser er der anvendt en række forskellige vægtningsmatricer, jf. Hall mfl. (2009) og Griliches (1992).<sup>9</sup> En mulighed er, at  $S$  og  $S^E$  beregnes som summen af henholdsvis  $R$  og  $R^E$  for alle andre virksomheder, dvs. svarende til at  $a_{ij} = 1$ . Dette er imidlertid ikke hensigtsmæssigt. For det første forekommer det mest plausibelt, at spillover til andre virksomheder ikke er ens, men afhænger af f.eks. geografisk eller teknologisk nærhed, branchetilknytning eller andet. For det andet vil  $S$  og  $S^E$  i praksis være ens for alle virksomheder i et givet år, hvis  $a_{ij} = 1$ . Der bliver således ingen variation mellem virksomheder i et givet år, hvilket kan gøre det vanskeligt empirisk at identificere parametrene til  $S$  og  $S^E$ .

Konkret er valgt at afprøve tre forskellige vægtningsmatricer baseret på

- a. Geografi
- b. Forskningsprofil (fordeling af forskning på forskningsområder)
- c. Geografi og forskningsprofil

*Ad a:* Det antages her, at der er spillover-effekter mellem virksomheder, som ligger i samme region. En række empiriske undersøgelser tyder på, at spillover er større for virksomheder, som ligger tæt på hinanden, jf. f.eks. Autant-Bernard mfl. (2007), Jaffe mfl. (1993) og Jaffe mfl. (2005b). Konkret antages, at  $a_{ij} = 1$  for alle virksomheder lokaliseret i den samme region, mens  $a_{ij} = 0$  for alle virksomheder lokaliseret i forskellige af de 5 regioner i Danmark. Med denne vægtningsmatrice vil der ikke være spillover mellem virksomheder i forskellige regioner. Den geografisk (stærkt) afgrænsede vægtningsmatrice understøttes af Mairesse og Mulkay (2008), som finder, at der er spillover-effekter fra virksomheder inden for en radius af 100 km, men ikke fra virksomheder, som er lokaliseret i en afstand på mellem 100 og 200 km.

*Ad b:* Her anvendes en vægtningsmatrice, som afspejler nærheden i forskningsprofiler mellem virksomheder. Nærheden i forskningsprofiler beregnes konkret som den parvise korrelation mellem virksomhedernes forskningsområder. Tilgangen blev oprindeligt anvendt af Jaffe (1986), men bliver stadig betegnet som »best practice«, jf. Bloom mfl. (2007). I den oprindelige anvendelse blev forskningsprofiler defineret i forhold til teknologiklasser for virksomhedernes patenter. Her følges tilgangen i Bloch og Marino (2008), som definerede forskningsprofiler i forhold til virksomheders fordeling af deres forskning på 15 forskellige forskningsområder (hvor energiforskning udgør et af områderne). Konkret er den parvise korrelation mellem forskningsområder i virksomhederne beregnet som:

---

9. Der er studier, som søger at identificere mekanismer til spredning af viden, jf. Autant-Bernard mfl. (2007). Det er dog en type forskning, som kun kan give indikationer – modsat håndfaste konklusioner – på, hvordan viden spredes. Som udtrykt af Krugman (1991): »Knowledge flows are invisible, they leave no paper trail by which they may be measured and tracked«.

$$a_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K s_{ik} s_{jk}}{\left(\sum_{k=1}^K s_{ik} s_{jk}\right)^{1/2} \left(\sum_{k=1}^K s_{jk} s_{jk}\right)^{1/2}} \quad (11)$$

Hvor  $K$  er antallet af forskningsområder,  $s_{ik}$  er andelen af virksomheds  $i$ 's forskning inden for forskningsområde  $k$ . Her er  $0 \leq a_{ij} \leq 1$ , hvor værdien nul svarer til, at virksomhederne har helt forskellig forskningsprofil, mens værdien 1 angiver at virksomhederne har identisk forskningsprofil.<sup>10</sup>

*Ad c:* Her antages, at der er spillover-effekter mellem virksomheder med nærhed i forskningsprofiler, som også geografisk ligger tæt på hinanden. Konkret er vægtningsmatricen beregnet som i ligning (11) med den tilføjelse, at  $a_{ij} = 0$  for virksomheder i forskellige geografiske regioner.

Forskellige vægtningsmatricer kan afspejle forskellige spredningsmekanismer for viden. En vægtningsmatrice baseret på geografisk nærhed er således konsistent med en spredningsmekanisme, hvor viden blev spredt ved at forskere skifter arbejdsplads (givet at arbejdsmarkedet for forskere er delvist lokalt afgrænset på kort sigt) eller at viden bliver spredt gennem mere personlige (geografisk lokale) netværk. Vægtningsmatricen baseret på korrelation i forskningsprofiler er forenelig med en mekanisme, hvor spredning af viden foregår inden for forskellige forskningsfelter, f.eks. ved faglige netværk med forskere inden for samme forskningsområder eller spredning af faglig viden til fagfæller i tidsskrifter eller gennem konferencer mv.

### 3. Beskrivelse af data

Oplysningerne, der danner baggrund for analysen af afkastet til forskning, er baseret på data fra opgørelsen af Erhvervslivets forskningsstatistik, indhentet af Center for Forskningsanalyse – og fra 2007 af Danmarks Statistik. Denne statistik kortlægger omfanget af dansk erhvervslivs forskning og udviklingsarbejde i form af bl.a. udgifter til virksomhedens egen forskning og antallet af forskningsmedarbejdere. Analysen, hvor udgifter til virksomhedens forskning skal opdeles i energi og anden forskning, tager udgangspunkt i indberetninger af forskning fra årene 1995, 1997, 1998, 1999,

---

10. Korrelationen i forskningsprofiler ( $a_{ij}$ ) vil f.eks. være én mellem to virksomheder, som kun forsker inden for energi. Korrelationen vil også være én for to virksomheder, som har spredt deres forskning helt jævnt ud på alle 15 forskningsområder. Carter Bloch har været behjælpelig med SAS-kodning til at beregne korrelationer i forskningsprofiler.

2001, 2003, 2005 og 2007, hvor der foreligger oplysninger om virksomhedernes forskning fordelt på forskellige forskningsområder.<sup>11</sup>

Det er ikke alle virksomheder, der indgår i opgørelsen af den danske forskningsaktivitet, dels fordi det er frivilligt at besvare spørgeskemaet, og dels fordi opgørelsen delvist er stikprøvebaseret. Mere præcist får virksomheder med mere end 249 ansatte, virksomheder inden for branchen »Forskning og udvikling« samt virksomheder, der tidligere har indberettet forskningsudgifter på mindst 10 mio. kr., alle tilsendt et spørgeskema. Forskningsaktiviteten i mellemstore og små virksomheder indhentes på stikprøvebasis ud fra kriterier vedrørende størrelse og branche, hvilket betyder, at oplysninger om forskning ikke nødvendigvis findes for de samme virksomheder i alle år, og dermed at panelet er ubalanceret. Dette vanskeliggør opgørelsen af virksomhedernes videnskapital, der er beregnet som en funktion af tidligere års investeringer ud fra »perpetual inventory method«, jf. afsnit 2.2.

For at kunne opgøre virksomhedernes FoU-kapital er foretaget en lineær interpolation af forskningsudgifter for virksomheder, der optræder flere gange i undersøgelserne, men ikke i en sammenhængende periode. For at gøre opgørelsen mere præcis er endvidere anvendt oplysninger fra Erhvervslivets forskningsstatistik for årene 2002, 2004 og 2006. Disse indeholder oplysninger om virksomhedernes samlede forskning, men ingen fordeling på forskningsområder (fordelingen på forskningsområder er i disse år interpoleret).

Oplysninger om virksomhedens værditilvækst, kapital og arbejdskraft er hentet fra den generelle firmastatistik for perioden 1999-2007. Virksomhedernes værditilvækst er deflateret med en fælles prisdeflator for private byerhverv, kapital er deflateret med de gennemsnitlige investeringspriser, mens videnskapital er deflateret med en generel deflator for værditilvæksten. Selve estimationen udføres for perioden 2000-2007, da nogle variable indgår med deres laggede værdi i produktionsfunktionen (se ligning 3). Derudover er der, til brug ved kvalitetskorrigering af arbejdskraften, indhentet oplysninger om uddannelsesniveaue for medarbejdere i de virksomheder, der har indberettet forskningsaktivitet. Disse oplysninger er hentet i registre i Danmarks Statistik. Det endelige datasæt består af i alt 4.238 observationer fordelt på 1.029 forskellige virksomheder, der i gennemsnit optræder fire gange i samplet. Omkring 75 pct. af arbejdskraften

---

11. Der findes oplysninger fra forskningsstatistikken i ulige årstal tilbage til 1991. Oplysninger fra 1991 og 1993 er dog udeladt af analysen, fordi virksomhederne i disse år kun skulle fordele deres forskningsudgifter på ned til 5 forskellige forskningsområder, dvs. at spørgeformen er ikke sammenlignelig med de senere år. Virksomhederne skal angive den procentvise fordeling af deres forskning på forskellige forskningsområder (herunder energiforskning). Virksomhederne kan indberette procentandele, som summer til mere end 100 pct., hvis virksomhedens forskning overlapper mellem forskellige forskningsområder. For at korrigere for dette overlap er der her anvendt reskalerede andele, som summer til 100 pct. Reskaleringen er foretaget for ca. 5 pct. af observationerne.

ten i datasættet er beskæftiget i industribrancher, og datasættet indeholder forskningsoplysninger fra virksomheder, der repræsenterer knap 40 pct. af den samlede danske industribeskæftigelse. Det endelige datasæt samt de variable, der indgår i analysen, er nærmere beskrevet i bilag 1.

#### 4. Estimationsresultater

Formålet med analysen er at undersøge, om der er større eller mindre privat afkast og spillover af privat udført FoU på energiområdet end privat FoU på andre områder. For at sammenligne estimationsresultaterne med tidligere undersøgelser fokuseres i første omgang på resultater fra estimationer, hvor der ikke skelnes mellem energiforskning og øvrig forskning (ligning 1). Efterfølgende gennemgås resultaterne af estimation med særlig fokus på effekten af energiforskning (ligning 2).

##### 4.1. Estimationsresultater uden særlig effekt af energiforskning

I tabel 1 vises estimationsresultater for hver af de tre forskellige mål for spillover, dels ved almindelige poolede regressionsmodeller og dels ved fixed effects (FE) modeller, som udnytter panelstrukturen i data ved at tillade virksomhedsspecifikke konstantled.

Fokuseres i første omgang på parametrene til virksomhedens egne input ( $K$ ,  $L$  og  $R$ ) er disse signifikante og relativt konstante på tværs af de forskellige estimerede modeller. Summen af disse tre produktionselasticiteter (0,97 til 1,02) er tæt på 1, hvilket svarer til konstant skalaafkast i forhold til virksomhedens egne input. Summen af produktionselasticiteterne er lidt større i de poolede estimationer sammenlignet med fixed effects modellerne. Dette ses ofte når man sammenligner poolede og fixed effects modeller, jf. Hall mfl. (2009).<sup>12</sup>

Overordnet set er der relativt beskedne forskelle i de estimerede parametre til forskningskapital og spillover-kapital, når man sammenligner resultaterne fra de poolede modeller med de tilhørende fixed effects modeller. Fixed effects modellerne er mere fleksible end poolede modeller, fordi de tager højde for uobserveret (tidsinvariant) he-

---

12. Inden for den empiriske litteratur vedrørende estimation af produktionsfunktioner og afkastet af forskning anses konstant skalaafkast af virksomhedens egne input ( $K$ ,  $L$  og  $R$ ) generelt som en ønskværdig egen-skab og som tegn på en god empirisk model. Jf. fodnote 4 kan der dog sættes spørgsmålstegn ved, om videnkapital  $R$  i så fald kan tolkes som »viden« i den gængse økonomiske forstand, hvor »viden« er ikke-rivaliserende i produktionen. Den estimerede positive parameter til videnkapital indikerer, at videnkapital også (delvist) omfatter en form for viden, som er rivaliserende. Det kunne f.eks. være tilfældet, hvis omfanget af virksomhedens egen forskning er korreleret med virksomhedens kapacitet til at indsamle, bearbejde og omsætte ny viden skabt af ekstern forskning (både offentlig og privat).

Table 1. Estimation af  $\ln(Y_{it})$ .

Nummer Type Spillover	1 OLS Reg		2 OLS Forsk.profil		3 OLS Forsk.profil&reg		4 FE Reg		5 FE Forsk.profil		6 FE Forsk.profil&reg	
	koef.	t	koef.	T	koef.	t	koef.	t	koef.	t	koef.	t
$\ln(K_{t-1})$	0,13	** 16,4	0,13	** 16,1	0,13	** 16,3	0,10	** 8,7	0,10	** 8,5	0,10	** 8,6
$\ln(L)$	0,76	** 63,0	0,76	** 62,9	0,76	** 63,1	0,74	** 36,4	0,74	** 36,5	0,74	** 36,5
$\ln(R_{t-1})$	0,12	** 17,9	0,13	** 18,9	0,13	** 18,4	0,13	** 11,5	0,14	** 12,4	0,14	** 12,2
$\ln(S_{t-1})$	0,04	** 4,8	0,00	0,2	0,03	** 4,3	0,05	** 3,6	0,01	0,7	0,03	** 2,9
year01	0,03	1,1	0,02	0,9	0,02	0,9	0,02	1,3	0,01	0,9	0,01	0,8
year02	0,05	*	0,05	*	0,05	*	0,04	*	0,03	*	0,04	*
year03	0,04	1,6	0,04	1,5	0,03	1,4	0,03	1,6	0,03	1,3	0,02	1,2
year04	0,05	*	0,05	*	0,04	1,9	0,02	1,3	0,03	1,7	0,03	1,4
year05	0,06	** 2,6	0,07	** 2,7	0,06	*	0,04	1,9	0,04	1,9	0,04	1,8
year06	0,06	*	0,07	*	0,06	*	0,05	1,9	0,05	*	0,05	*
year07	0,13	*	0,13	** 4,0	0,13	** 4,1	0,11	*	0,11	** 4,0	0,11	** 4,1
Konstant	4,14	** 31,5	4,66	** 22,7	4,33	** 40,8	4,19	*	4,76	** 18,0	4,55	** 28,4
(basis)	19 brancher											
Konstanter	19 brancher											
N observationer	4,238		4,238		4,236		4,238		4,238		4,236	
R <sup>2</sup> overall	0,9146		0,9140		0,9146		0,9096		0,9085		0,9090	
R <sup>2</sup> within							0,2438		0,2433		0,2445	
N virksomheder							1,029		1,029		1,028	
p (year <sub>t</sub> =0)	0,0047		0,0032		0,0040		0,0093		0,0128		0,0073	
Sigma_u							0,374		0,378		0,377	
Sigma_e							0,294		0,294		0,294	
Rho							0,618		0,624		0,622	

\* Angiver at parameteren er signifikant på et 5-pct. niveau. \*\* Angiver at parameteren er signifikant på et 1-pct. niveau. t-værdier er beregnet ud fra robuste s.e.

terogenitet mellem virksomhederne. Der lægges derfor mest vægt på resultaterne fra fixed effects modellerne.<sup>13</sup>

Produktionselasticiteten til forskningskapital er på 0,12 til 0,14 i de estimerede modeller. Størrelsen af produktionselasticiteten svarer til det, der er fundet i tidligere undersøgelser. Således finder Hall mfl. (2009) i en nylig survey, at elasticiteterne til forskningskapital er inden for intervallet 0,01 til 0,25, men med 0,08 som et typisk niveau. I en nylig analyse baseret på danske data finder Bloch og Marino (2008) produktionselasticiteter svarende til 0,13, mens analyser præsenteret i Forsknings- og Innovationsstyrelsen (2010) finder elasticiteter til forskningskapital på 0,05 til 0,13.

Elasticiteten til forskningskapital kan bruges til at beregne nettoafkastet af forskning ( $\rho$ ):<sup>14</sup>

$$\rho = \gamma \cdot \frac{Y}{R} - \delta \quad (12)$$

I estimationssamplet er medianen af  $Y/R = 2,9$ , og forskningskapitalen blev beregnet med en årlig afskrivning af viden ( $\delta$ ) på 15 pct. For elasticiteter til forskningskapital på mellem 0,12 og 0,14 svarer dette til et privat nettoafkast af forskning på 20 til 25 pct. Dette kan måske forekomme at være et relativt højt afkast af en investering, men flere udenlandske studier peger i retning af et endnu højere afkast af forskning, jf. Hall mfl. (2009).

Det estimerede afkast af forskning kan være et overkantsskøn i forhold til det forventede afkast inden en investering i forskning foretages. I estimationssamplet er ikke medtaget virksomheder med negativ værditilvækst. I det omfang tidligere investeringer i forskning har været fejlslagne kan det lede til konkurs eller eventuelt negativ værditilvækst. Disse virksomheder vil ikke indgå i samplet, dvs. der er risiko for at nogle dårlige FoU-investeringer ikke medtages i beregningen af afkastet af forskning. Der kan endvidere argumenteres for, at det gennemsnitlige (ex post realiserede) afkast af privat forskning også skal være relativt højt, da der må formodes at være en betydelig risiko ved at investere i forskning (dvs. høj risikopræmie).

13. I forbindelse med denne analyse kan der dog argumenteres for, at der kan være tidsafhængige målefejl ved opgørelsen af spillover, som potentielt kan give bias især i fixed effects modellerne. Som beskrevet tidligere er  $S_{t-1}$  en vægtet sum af forskningskapitalen i andre virksomheder, som er tilgængelige i data i de pågældende år. Da oplysninger om forskningsindsatsen er baseret på et ubalanceret panel vil ændringer i  $S_{t-1}$  både kunne afspejle ændringer i virksomhedernes forskningsindsats (som vi ønsker at belyse) og ændringer, som skyldes, at det ikke er de samme virksomheder, som er med i beregningen af  $S_{t-1}$  i de forskellige år. Den potentielle bias fra dette må formodes at være større i fixed effects modeller, hvor parametrene er identificeret ved tidsvariationen i variablene inden for de enkelte virksomheder, end i de pooled regressioner, som i højere grad er identificeret ved variationen mellem virksomheder.

14. Pr. definition er  $\gamma = \rho^b(R/Y)$ , hvor  $\rho^b$  er den marginale produktivitet af FoU-kapital. Givet visse antagelser kan  $\rho^b$  tolkes som det marginale interne afkast (brutto), jf. Hall mfl. (2009).

Estimationerne i tabel 1 er baseret på en kvalitetskorrigeret opgørelse af beskæftigelsen, hvor personer med forskellige grader af uddannelse er vægtet højere end ufaglærte. Hvis der i stedet benyttes et ikke-kvalitetskorrigeret mål for beskæftigelsen findes lidt højere produktionselasticitet af forskning (0,14 til 0,15). Den højere produktionselasticitet er formentlig biased, fordi virksomheder med megen forskning også typisk har relativt mange højtuddannede, jf. Hall mfl. (2009).

Parametrene til målet for spillover er signifikante i modellerne, hvor der anvendes det enkle geografiske mål for spillover (model 1 og 4) og hvor det geografiske mål for spillover kombineres med et mål for korrelationen i forskningsprofiler mellem virksomhederne (model 3 og 6). Parametrene til spillover variabelen i disse modeller er mellem 0,03 og 0,05. Dette harmonerer udmærket med tidligere undersøgelser, hvor elasticiteten til spillover variabelen typisk er omkring 0,05 til 0,09, jf. Hall mfl. (2009). Det er dog vanskeligt at sammenligne parametre til spillover variable for forskellige studier, da der er stor forskel på, hvordan spillover variabelen er beregnet. I Bloch og Marino (2008), som også er baseret på danske data, er estimeret en parameter til spillover variabelen (baseret på en vægtningsmatrice med korrelation mellem forskningsprofiler) på 0,06, dvs. lidt højere end fundet her.<sup>15</sup>

Parametrene til spillover variabelen er ikke signifikante i modellerne (2 og 5), hvor spillover-effekten alene er baseret på korrelation i forskningsprofil. Dette peger i retning af, at spillover-effekten er geografisk afgrænset.

Et udtryk for det samfundsøkonomiske nettoafkast ved én virksomheds forskning kan beregnes som virksomhedens eget afkast ved forskning adderet med summen af afkastet af øget ekstern forskning for alle modtagere af spillover fra pågældende virksomhed, jf. Hall mfl. (2009):

$$\frac{\delta Y_i}{\delta R_i} + \sum_{j \neq i} a_{ij} \frac{\delta Y_j}{\delta S_j} - \delta = \gamma \cdot \frac{Y_i}{R_i} + \eta \cdot \sum_{j \neq i} a_{ij} \frac{Y_j}{S_j} - \delta \quad (13)$$

I ligning (13) angiver det andet led den eksterne gevinst til andre virksomheder.

I de to modeller, hvor spillover variabelen er beregnet ud fra region og korrelation i forskningsprofiler (estimationsmodel 3 og 6), er det samfundsøkonomiske afkast på

---

15. Modellen i Bloch og Marino (2008) er specificeret noget anderledes end den her estimerede model: I deres model er den afhængige variabel omsætning i stedet for værditilvækst, men materialeforbrug indgår ikke som input. Arbejdskraften er ikke korrigeret for double counting eller forskelle i sammensætningen på uddannelseskategorier. Endvidere er spillovervariabelen beregnet ud fra et enkelt års investeringer i forskning i stedet for forskningskapitalen i de enkelte virksomheder. Endelig er deres model estimeret under en antagelse om konstant skalaafkast for alle input (inklusive spillovervariabelen), hvor der her er anvendt en mindre restriktiv formulering.

henholdsvis 25 og 28 pct., beregnet ud fra medianværdierne. Heraf kan ca. 4 pct.point kan tilskrives de eksterne spillover-effekter.<sup>16</sup> Det svarer til, at det eksterne afkast udgør en sjettedel til en syvendedel af det samfundsøkonomiske afkast af forskning. I de to modeller estimeret med regionale spillover fås en smule højere eksternt afkast af spillover svarende til mellem en femtedel og en fjerdedel.<sup>17</sup> Det eksterne afkast (og dermed det samlede samfundsøkonomiske afkast) af forskningen er lidt mindre end det, der typisk findes i udenlandske studier (hvor der dog også kan være stor variation i afkastet til ekstern spillover-kapital), jf. Hall mfl. (2009).

Beregningen af det eksterne afkast af virksomhedernes forskning kan være et underkantsskøn. I analysen indgår således ikke virksomheder, som ikke selv har udført forskning. Der er derfor flere virksomheder end de medtagne, som potentielt kunne have nydt godt af en given virksomheds forskning. Et potentielt fravær af virksomheder med mislykkede investeringer i forskning kan dog trække i modsat retning.

Et andet mål for den økonomiske betydning af den estimerede parameter til spillover-effekten ( $S$ ) kan findes ved at sammenligne størrelsen af  $S^\eta$  for forskellige niveauer af  $S$ . I model 6 i tabel 1 estimeres  $\eta$  til 0,0255. 10-pct. fraktilen og 90-pct. fraktilen for  $S$  for den pågældende variant af spillover variabelen er på henholdsvis 676.575 og 12.716.634 (jf. bilag 1) svarende til, at værdien af  $S^{0,0255}$  er på henholdsvis 1,409 og 1,519. Det svarer til, at der er en forskel i værditilvæksten på ca. 8 pct. mellem virksomheder tilgodeset med forholdsvis høj spillover (90 procent fraktilen) sammenlignet med virksomheder med forholdsvis lav spillover (10 pct. fraktilen). Dette tal kan sammenholdes med en tidligere dansk analyse af produktivitetseffekten ved at tilhøre en geografisk afgrænset erhvervsklynge. Produktivitetsfordelen ved at tilhøre en klynge tilskrives således ofte positive videnskexternaliteter. Konkret er fundet en positiv effekt på produktiviteten på 9 pct. ved at tilhøre en klynge, jf. Madsen mfl. (2003).<sup>18</sup> Produktivitetsforskellene mellem virksomheder tilgodeset med henholdsvis høj og med lav spillover forekommer dermed at være af nogenlunde plausibel størrelse. Dette underbygger størrelsen af det eksterne afkast ved privat forskning angivet ovenfor.<sup>19</sup>

16. Der er i samplet nogle store virksomheder med meget lidt forskning. For disse virksomheder bliver værdien af  $\gamma(Y_i/R_i)$  meget stor. Det vil give en urealistisk høj gennemsnitlig værdi for det privat- og samfundsøkonomiske afkast. Derfor er anvendt medianværdier af det privatøkonomiske og det eksterne afkast af forskning.

17. I de to modeller estimeret med regionale spillover (model 1 og 4) er medianværdien af det samfundsøkonomiske afkast på henholdsvis 26 og 29 pct., hvoraf henholdsvis 5 og 7 pct.point kan tilskrives eksterne spillover-effekter (henholdsvis godt 6 og 7 pct.).

18. Klynger er her defineret ved en høj koncentration af beskæftigede i en kommune inden for samme branche. Produktivitetseffekten er beregnet i forhold til en dummyvariabel for hvorvidt en virksomhed ligger i en klynge.

19. De tilsvarende tal for model 1, 3 og 4 er på henholdsvis 10,7 pct., 8,4 pct. og 14,0 pct. Modellerne baseret på rene regionale spillover (model 1 og 4) giver således relativt høje produktivitetsforskelle.



#### 4.2. Estimationsresultater med separat betydning af energiforskning

I tabel 2 vises estimationsresultaterne, når der inkluderes de to brøklede, som angiver, hvor meget energiforskning udgør af virksomhedens egen forskning og af spillover variablen. Det fremgår af tabel 2, at parameteren til  $\left(\frac{R^E + R}{R}\right)$  er insignifikant i alle modeller, og at  $t$ -værdierne er meget lave. Det vil sige, at en høj andel af energiforskning ikke har nogen betydning for produktionselasticiteten eller afkastet af virksomhedens egen forskning. Hvis virksomhederne er gode til at vurdere det fremtidige afkast af forskellige typer af forskning, bør der i princippet heller ikke være forskel i det private afkast af forskellige typer forskning.

Det fremgår af tabel 2, at parameteren til  $\left(\frac{S^E + S}{S}\right)$  er negativ i alle modeller, men kun signifikant i to tilfælde (model 1 og 6).

Selv om modellerne ikke giver anledning til en meget stærk konklusion vedrørende spillover-effekten af energiforskning er der intet, der tyder på højere spillover-effekter af energiforskning sammenlignet med anden forskning.

Den negative parameter til  $\left(\frac{S^E + S}{S}\right)$  er på ca. -0,9 i model 1 (hvor spillover er defineret som et regionalt fænomen alene). Tolkningen af parameteren til dette brøklede er anderledes end tolkningen af produktionselasticiteterne. I estimationssamlet er 90 pct. fraktilen af  $\left(\frac{S^E + S}{S}\right)$  på 1,076, jf. bilag 1. Da  $1,076^{-0,9} = 0,96$  svarer dette til, at der er en 4 pct. reduktion i bidraget fra spillover, når dette indeholder en meget høj andel af energi. Der er således tale om relativt små effekter økonomisk set.

Samlet set peget estimationerne i tabel 2 på, at der ikke er højere privat afkast eller højere spillover-effekter af energiforskning sammenlignet med anden forskning. Faktisk tyder resultaterne vedrørende spillover-effekten på, at der snarere er lidt lavere spillover-effekter af energiforskning.

#### 4.3. Supplerende estimationer

Der er udført en række supplerende estimationer med henblik på at teste robustheden af hovedresultatet om, at der ikke er større spillover-effekter af energiforskning sammenholdt med anden forskning. Resultaterne af disse supplerende estimationer beskrives kort nedenfor. Estimationsresultaterne er ikke gengivet, men kan i de fleste tilfælde findes i Bjørner og Mackenhauer (2011).

Der er foretaget estimationer under antagelse om konstant skalaafkast for virksomhedens input  $K$  og  $L$  (dvs. givet restriktionen  $\alpha + \beta = 1$ ). Baggrunden for denne formulering er, at videnskapskapitalen  $R$  kan anses for et ikke-rivaliserende gode. Ikke overraskende ændrer denne restriktion størrelsen af de estimerede produktionselasticiteter ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  og  $\eta$ ), men parameteren til brøkket  $\left(\frac{S^E + S}{S}\right)$  er fortsat negativ i alle modeller og signifikant negativ i fire af de seks estimerede modeller.

*Table 2. Estimation af  $\ln(Y_{it})$  med separate effekter af energiforskning.*

Nummer Type Spillover	1		2		3		4		5		6	
	OLS Reg	OLS Forsk.profil	OLS Forsk.profil&reg	OLS Forsk.profil	OLS Forsk.profil&reg	OLS Forsk.profil	OLS Forsk.profil	OLS Forsk.profil	OLS Forsk.profil	OLS Forsk.profil	OLS Forsk.profil&reg	OLS Forsk.profil&reg
	koef.	t	koef.	t	koef.	t	koef.	t	koef.	t	koef.	t
$\ln(K_{t-1})$	0,13 **	16,4	0,13 **	16,1	0,13 **	16,3	0,10 **	8,7	0,10 **	8,6	0,10 **	8,6
$\ln(L)$	0,76 **	63,0	0,76 **	63,0	0,76 **	63,3	0,74 **	36,4	0,74 **	36,2	0,74 **	36,5
$\ln(R_{t-1})$	0,12 **	17,5	0,13 **	18,7	0,12 **	18,2	0,13 **	11,5	0,14 **	12,0	0,13 **	12,1
$\ln((RE_{t-1} + R_{t-1})/R_{t-1})$	-0,01	-0,1	-0,01	-0,1	0,05 **	0,7	-0,12	-0,8	-0,08	-0,5	-0,02	-0,2
$\ln(S_{t-1})$	0,03 **	3,5	0,00	0,0	0,03 **	3,9	0,04 **	2,9	0,00	0,2	0,02 **	2,3
$\ln((SE_{t-1} + S_{t-1})/S_{t-1})$	-0,87 *	-2,4	-0,08	-0,3	-0,19	-1,2	-0,66	-1,4	-0,29	-0,8	-0,34 *	-2,0
year01	0,03	1,1	0,02	0,9	0,02	0,9	0,02	1,2	0,02	1,0	0,01	0,9
year02	0,05 *	2,3	0,02 *	2,1	0,05 *	2,2	0,04 *	2,2	0,04 *	2,0	0,04 *	2,1
year03	0,05 *	2,0	0,03	1,5	0,04	1,4	0,04 *	2,0	0,03	1,5	0,03	1,4
year04	0,05 *	2,3	0,02 *	2,3	0,04	1,9	0,03	1,6	0,03	1,8	0,03	1,5
year05	0,06 *	2,6	0,03 **	2,7	0,06 *	2,4	0,04	1,9	0,04 *	2,0	0,04	1,9
year06	0,06 **	2,3	0,03 *	2,5	0,06 *	2,3	0,05 *	2,0	0,06 *	2,3	0,05 *	2,2
year07	0,14 **	4,3	0,03 **	4,0	0,13 **	4,2	0,12 **	4,2	0,11 **	4,1	0,11 **	4,2
Konstanter (basis)	4,32 **	29,6	4,70 **	18,1	4,35 **	39,2	4,35 **	18,7	4,89 **	16,0	4,63 **	27,3
Konstanter	19 brancher		19 brancher		19 brancher		FE		FE		FE	
N observationer	4,238		4,238		4,236		4,238		4,238		4,236	
R <sup>2</sup> overall	0,9147		0,9140		0,9146		0,9098		0,9087		0,9092	
R <sup>2</sup> within							0,2442		0,2434		0,2452	
N virksomheder							1,029		1,029		1,028	
p (year <sub>i</sub> =0)	0,0024		0,0034		0,0035		0,0071		0,0105		0,0057	
sigma_u							0,374		0,376		0,376	
sigma_e							0,294		0,294		0,294	
Rho							0,618		0,621		0,621	

\* Angiver at parameteren er signifikant på et 5-pct. niveau. \*\* Angiver at parameteren er signifikant på et 1-pct. niveau. t-værdier er beregnet ud fra robuste s.e.

Hovedparten af virksomheder med energiforskning udfører også miljøforskning (isoleret set er der dog flere virksomheder, som udfører miljøforskning, end virksomheder, som udfører energiforskning). Det er derfor undersøgt, om den negative parameter til andelen af energiforskning i virkeligheden skal tilskrives, at der er en lavere spillover-effekt af miljøforskningen. Denne model er estimeret ved at erstatte  $R^E$  og  $S^E$  med variablene  $R^{E+M}$  og  $S^{E+M}$ , som angiver egen forskning og spillover andel for summen af energiforskning og miljøforskning. Parametrene til  $\left(\frac{S^{E+M} + S}{S}\right)$  er fortsat negative, men næsten altid numerisk mindre sammenholdt med de tilsvarende parametre i tabel 2. Dette tyder på, at det er energiforskningen snarere end miljøforskningen, som er drivende for den negative parameter. Dette bekræfter således, at der synes at være lavere spillover af energiforskning.

Der er også estimeret modeller svarende til ligning (4), hvor spillover-kapitalen er opdelt i energi- og øvrig spillover-kapital. I disse modeller fås generelt en signifikant positiv parameter til øvrig spillover kapital, mens der fås en negativ parameter til energi spillover-kapitalen, der også er signifikant i flere tilfælde. Den negative parameter til energi spillover-kapitalen indikerer, at der ikke blot kan være mindre, men ligefrem negativ spillover fra energiforskning.

Endelig er estimeret modeller med en alternativ specifikation af spillover-kapitalen, hvor vægtningsmatricen er baseret på en kombination af branche og geografi. Her fås insignifikante parametre til spillover-kapitalen, som i fixed effects modellen er negativ. Selv om der typisk vurderes at være positive spillover-effekter af forskning, kan det ikke udelukkes, at der også kan være negative. En virksomheds forskning kan lede til produktinnovationer, som kan udkonkurrere produkter fra andre virksomheder, der producerer lignende produkter, jf. Bloom mfl. (2007). Dette kan potentielt være årsagen til, at der ikke identificeres positive signifikante spillover-effekter for virksomheder inden for samme branche og region, da disse også typisk konkurrerer på samme varemærker. Under alle omstændigheder fås en negativ insignifikant parameter til brøkleddet, som angiver, om der er en anden effekt på spillover af energiforskning.

Alt i alt understøtter de forskellige robusthedscheck konklusionen om, at der ikke er højere spillover-effekter af energiforskning, og at der tværtimod er tegn på lavere spillover-effekt af energiforskning

## 5. Sammenfatning

Der er estimeret produktionselasticiteter til arbejdskraft, almindelig kapital, forskningskapital og forskellige mål for spillover baseret på forskningen i andre virksomheder. Estimationen er baseret på data på virksomhedsniveau for perioden 1999 til 2007. Virksomhedernes forskningskapital og spillover-effekter er dog baseret på oplysninger om virksomhedens udgifter til forskning tilbage til 1995. I modsætning til tidligere dan-

ske undersøgelser tager analysen både højde for double counting og for uddannelsesrelaterede forskelle i medarbejdernes produktivitet. Endvidere undersøges om afkast og spillover er højere for energiforskning sammenholdt med anden forskning. I givet fald vil dette kunne motivere øremærkede subsidier til privat forskning, som sigter mod at reducere den energirelaterede udledning af CO<sub>2</sub>.

Analysen bekræfter, at der er positiv spillover af forskning. Forsøg med forskellige afgrænsninger af spillover-effekterne peger i retning af, at disse spillover-effekter er geografisk afgrænset. Analysen tyder ikke på, at der er større spillover-effekter og dermed større samfundsøkonomisk afkast af energiforskning sammenlignet med anden forskning. Faktisk tyder flere af de afprøvede modeller på, at den positive spillover-effekt er signifikant mindre for energiforskning sammenlignet med anden forskning.

Mere generelt giver de estimerede modeller resultater, som nogenlunde harmonerer med resultater fra tidligere undersøgelser. Parameteren til forskningskapital svarer til et nettoafkast af investering i forskning på 21-24 pct. Set i forhold til resultater fra den udenlandske litteratur forekommer dette at være et plausibelt afkast. Generelt må estimerede afkast af forskning ud fra sådanne typer af undersøgelser forventes at være overkantsskøn, da virksomheder med negativ værditilvækst ikke indgår i estimationerne. Dermed er der formentlig nogle forskningsfiaskoer, som ikke medtages i estimationerne. Det eksterne afkast af forskning er på omkring 4 pct., hvormed det samlede samfundsøkonomiske afkast af forskning er på ca. 25 til 28 pct. Af dette udgør det eksterne afkast således omkring en sjettedel til en syvendedel.

Analysen tager som nævnt højde for, at arbejdskraft med forskelligt uddannelsesniveau har forskellig produktivitet. Når der ikke tages højde for dette forhold, fås højere produktionselasticiteter og nettoafkast af virksomhedernes egen forskning. Denne opad bias skyldes formentlig, at virksomheder med megen forskning også generelt har en større andel af højtuddannede i den del af deres arbejdsstyrke, som ikke beskæftiger sig med forskning.

Implikationen af analysen er, at det vil være hensigtsmæssigt at støtte virksomhedernes forskning, men støtten bør ikke øremærkes privat energiforskning. En sådan øremærkning risikerer at lede til lavere vækst.

#### Litteratur

- Autant-Bernard, C., J. Mairesse og N. Mas-sard. 2007. Spatial Knowledge diffusion through collaborative networks. *Papers in Regional Science*, 86 (3), s. 341-50.
- Bjørner, T. B. og J. Mackenhauer. 2011. Estimation af spillover-effekter af energiforskning og anden privat forskning. *DØRS working paper* 2011:1. De Økonomiske Råds Sekretariat.
- 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.
- De Økonomiske Råd. 2010. *Dansk Økonomi – Efterår 2010*. De Økonomiske Råds Sekretariat.
- De Økonomiske Råd. 2011. *Økonomi og Miljø 2011*. De Økonomiske Råd.
- Fischer, C. og R. G. Newell. 2008. Environmental and Technology Policies for Climate Mitigation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 55 (2), s. 142-62.
- Forsknings- og Innovationsstyrelsen. 2010. Produktivitetseffekter af erhvervslivets forskning, udvikling og innovation. Innovation: *Analyse og evaluering 1/2010*. Forsknings- og Innovationsstyrelsen.
- Griliches, Z. 1992. The Search for R&D Spillovers. *Scandinavian Journal of Economics*, 94, s. 29-47.
- Hall, B. H. og J. Mairesse. 1995. Exploring the relationship between R&D and productivity in French manufacturing firms. *Journal of Econometrics*, 65 (1), s. 263-93.
- 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. 164-74.
- 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. 577-98.
- 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. 461-64.
- Johnstone, N., I. Hascic og D. Popp. 2010. Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts. *Environment and Resource Economics*, 45, s. 133-55.
- Krugman, P. 1991. Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99, s. 483-99.
- Madsen, E. S., V. Smith og M. Dilling-Hansen. 2003. Industrial clusters, firm location and productivity – Some empirical evidence for Danish firms. *Working paper* 03-26. Department of Economics, Aarhus School of Business.
- Mairesse, J. og B. Mulkey. 2008. An Exploration of Local R&D Spillovers in France. *NBER Working Paper* 14552. National Bureau of Economic Research.
- 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, s. 941-75.
- OECD. 2010. Taxation, Innovation and the Environment. *OECD Green Growth Strategy*. OECD.
- Popp, D. 2002. Induced Innovation and Energy Prices. *American Economic Review*, 92 (1), s. 160-80.
- Popp, D. 2006. R&D Subsidies and Climate Policy: Is there a Free Lunch? *Climatic Change*, 77 (3-4), s. 311-41.
- 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.
- Schneider, S. og L. Goulder. 1997. Commentary: Achieving Low-Cost Emissions Targets. *Nature*, 389 (4 September), s. 13-14.
- 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.

### Bilag 1. Beskrivelse af endeligt datasæt

Udgangspunktet for analysen af forskningsafkast er data fra Erhvervslivets forskningsstatistik for årene 1995, 1997, 1998, 1999, 2001, 2003, 2005 og 2007, hvor der foreligger oplysninger om fordelingen af egen forskning på forskningsområder. Disse oplysninger er suppleret med oplysninger om forskningsudgifter for årene 2002, 2004 og 2006, hvor der dog ikke foreligger oplysninger om fordeling af forskningen på forskningsområder. For at kunne opgøre virksomhedens FoU-kapital er foretaget lineær interpolation af udgifterne til egen forskning for virksomheder, der optræder flere gange i datasættene. For årene 2002, 2004 og 2006 er beregnet fordeling af forskningen på forskningsområder ud fra lineær interpolation, hvor dette har været muligt, med henblik på at kunne beregne investeringer i energiforskning i disse år.

For at en virksomhed kan indgå i analysen i et givet år skal der findes oplysninger om antallet af forskningsmedarbejdere i det betragtede år (til korrektion for double counting) og forskningsudgifter året inden (til beregning af virksomhedens forskningskapital ultimo perioden inden). Der skal således være oplysninger om virksomheden (enten faktiske eller interpolerede) i to på hinanden følgende år, for at FoU-data kan benyttes. I en række tilfælde findes ikke data i to sammenhængende år, og det er ligeledes nødvendigt at udelade en række observationer, fordi de ikke indeholder brugbare oplysninger om beskæftigelse, værditilvækst eller kapitalapparat (lagget) fra den generelle firmastatistik. Af disse grunde er der en reduktion i antallet af observationer på godt 40 pct. Derudover er der en reduktion i antallet af observationer, som skyldes at værditilvækst eller kapitalværdi er nul eller negativ (af hensyn til  $\ln$ -transformationen). Brancher med meget få observationer er fjernet, og for at fjerne potentielt fejlbehæftede observationer er endvidere udeladt observationer, hvor forskningsudgiften pr. forskerårsværk er mindre end 100.000 kr. eller over 6 mio. kr. og oplysninger, hvor værditilvækst pr. årsværk er lavere end 25.000 kr. eller højere end 5 mio. kr. Dette giver et mindre frafald på 58 observationer. I estimationsperioden er der 4.238 brugbare observationer, hvoraf udgiften til forskning er ikke-interpoleret i 2.286 tilfælde. Dette antal svarer til 49 pct. af de oprindelige primære forskningsdata i estimationsperioden. Frafaldet er dog størst for mindre virksomheder med lidt forskning, hvorfor det endelige datasæt indeholder oplysninger om ca. 70 pct. af udgifterne til egen forskning i de fleste år.<sup>20</sup>

Tabel B1 indeholder en oversigt over variable benyttet i analysen samt beskrivende statistik for hver af disse. Den beskrivende statistik er opdelt i det samlede sample af observationer, samt observationer kun for virksomheder, som har energiforskning. Det

---

20. I årene 2002, 2004 og 2006, hvor fordelingen på forskningsområder skulle interpoleres, er frafaldet større. I disse år indeholder datasættet oplysninger svarende til henholdsvis 51 pct., 56 pct. og 61 pct. af udgifterne til egen forskning i de primære data.

fremgår, at virksomheder der har udført energiforskning er lidt større (flere medarbejdere og værditilvækst), men i forhold til værditilvækst pr. medarbejder og værditilvækst pr. enhed FoU-kapital er der ikke stor forskel.

Omkring 75 pct. af arbejdskraften i datasættet er beskæftiget i industribrancher, hvilket svarer til, at data indeholder omkring 140.000 årsværk årligt, der arbejder inden for industrien. Til sammenligning har den samlede beskæftigelse inden for industrien i Danmark i gennemsnit ligget på omkring 360.000 i perioden 2000-2007, jf. Danmarks Statistik. Det endelige datasæt indeholder altså forskningsoplysninger fra virksomheder, der repræsenterer knap 40 pct. af den danske industribeskæftigelse.

Tabel B1. Beskrivende statistik.

Variabel	Antal obs.	Gennemsnit	Median	10 procent	90 procent
<i>Alle virksomheder</i>					
Værditilvækst <sup>1</sup> , $Y_t$	4.238	181.598	57.565	7.504	350.610
Fysisk kapital <sup>1</sup> , $K_{t-1}$	4.238	155.006	24.453	1.364	279.421
FoU-kapital <sup>1</sup> , $R_{t-1}$	4.238	120.222	17.735	2.817	186.916
Bidrag til FoU-kapital, $(RE_{t-1}+R_{t-1})/R_{t-1}$	4.238	1,035	1,000	1,000	1,094
Arbejdskraft <sup>2</sup> , $L_t$	4.238	368	149	17	770
Værditilvækst pr. medarbejder <sup>1</sup> , $Y_t/L_t$	4.238	497	391	254	794
Værditilvækst pr. FoU-kapital, $Y_t/R_{t-1}$	4.238	8,5	2,9	0,4	17,8
Spillover (region) <sup>1</sup> , $S_{t-1}$	4.238	25.761,738	10.424,181	3.750,240	63.176,244
Spillover (teknologi) <sup>1</sup> , $S_{t-1}$	4.238	17.949,661	18.299,675	6.718,390	27.643,712
Spillover (teknologi og region) <sup>1</sup> , $S_{t-1}$	4.238	5.532,691	3.994,844	676,575	12.716,634
Spillover fra energi (region), $(SE_{t-1}+S_{t-1})/S_{t-1}$	4.238	1,043	1,041	1,022	1,076
Spillover fra energi (teknologi), $(SE_{t-1}+S_{t-1})/S_{t-1}$	4.238	1,044	1,036	1,010	1,094
Spillover fra energi (teknologi og region), $(SE_{t-1}+S_{t-1})/S_{t-1}$	4.236	1,047	1,037	1,005	1,097
<i>Virksomheder med energiforskning</i>					
Værditilvækst <sup>1</sup> , $Y_t$	888	220.944	88.823	14.344	567.860
Fysisk kapital <sup>1</sup> , $K_{t-1}$	888	155.817	41.015	2.702	395.867
FoU-kapital <sup>1</sup> , $R_{t-1}$	888	158.184	25.539	4.234	323.625
Bidrag til FoU-kapital, $(RE_{t-1}+R_{t-1})/R_{t-1}$	888	1,165	1,090	1,011	1,463
Arbejdskraft <sup>2</sup> , $L_t$	888	527	252	37	1.255
Værditilvækst pr. medarbejder <sup>1</sup> , $Y_t/L_t$	888	446	376	266	658
Værditilvækst pr. FoU-kapital, $Y_t/R_{t-1}$	888	7,4	3,0	0,6	14,6
Spillover (region) <sup>1</sup> , $S_{t-1}$	888	23.772,998	9.656,378	3.434,068	63.148,744
Spillover (teknologi) <sup>1</sup> , $S_{t-1}$	888	17.642,026	18.300,358	6.669,617	27.771,598
Spillover (teknologi og region) <sup>1</sup> , $S_{t-1}$	888	4.650,588	3.663,372	601,567	10.838,371
Spillover fra energi (region), $(SE_{t-1}+S_{t-1})/S_{t-1}$	888	1,045	1,046	1,021	1,075
Spillover fra energi (teknologi), $(SE_{t-1}+S_{t-1})/S_{t-1}$	888	1,069	1,053	1,028	1,135
Spillover fra energi (teknologi og region), $(SE_{t-1}+S_{t-1})/S_{t-1}$	888	1,077	1,059	1,016	1,151

Notes: (1) 1.000 kr., deflateret. (2) Antal kvalitetskorrigerede årsværk, yderligere korrigeret for double counting.