

*Torstein Bye, Mads Greaker og
Knut Einar Rosendahl*

Grønne sertifikater og læring

Rapporter

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

Reports

This series contains statistical analyses and method and model descriptions from the different research and statistics areas. Results of various single surveys are also published here, usually with supplementary comments and analyses.

© Statistisk sentralbyrå, september 2002
Ved bruk av materiale fra denne publikasjonen,
vennligst oppgi Statistisk sentralbyrå som kilde.

ISBN 82-537-5145-1 Papirversjon
ISBN 82-537-5147-8 Elektronisk versjon
ISSN 0806-2056

Emnegruppe
01.03.10

Design: Enzo Finger Design
Trykk: Statistisk sentralbyrå/210

Standardtegn i tabeller	Symbols in tables	Symbol
Tall kan ikke forekomme	Category not applicable	.
Oppgave mangler	Data not available	..
Oppgave mangler foreløpig	Data not yet available	...
Tall kan ikke offentliggjøres	Not for publication	:
Null	Nil	-
Mindre enn 0,5 av den brukte enheten	Less than 0.5 of unit employed	0
Mindre enn 0,05 av den brukte enheten	Less than 0.05 of unit employed	0,0
Foreløpig tall	Provisional or preliminary figure	*
Brudd i den loddrette serien	Break in the homogeneity of a vertical series	—
Brudd i den vannrette serien	Break in the homogeneity of a horizontal series	
Desimalskilletegn	Decimal punctuation mark	,(,)

Sammendrag

Torstein Bye, Mads Greaker og Knut Einar Rosendahl

Grønne sertifikater og læring

Rapporter 2002/27 • Statistisk sentralbyrå 2002

Et stort antall empiriske studier viser at produksjonskostnadene for nye teknologier, inklusive grønne energiteknologier, gjerne faller over tid. På bakgrunn av dette har man undersøkt om kostnadsfallet kan forklares med såkalte læringskurver eller erfaringskurver. I de fleste empiriske studiene av erfaringskurver har man sett på sammenhengen mellom akkumulert produksjon og enhetskostnader. Mange studier viser at enhetskostnadene kan falle dramatisk etter hvert som akkumulert produksjon øker.

I mange studier kan det imidlertid være vanskelig å avgjøre om kostnadsreduksjonene skyldes en ren læringseffekt som følge av erfaring med produksjonen, eller om effekten er forårsaket av stordriftsfordeler, målrettet forskning og utvikling, eller generelle tekniske gjennombrudd. Der hvor det er gjort forsøk på å splitte bidraget fra de ulike kildene til effektivisering, kommer det frem at målrettet forskning og utvikling ofte er vel så viktig som læring. Man må likevel anta at mye av forskningen ville gitt langt dårligere uttelling hvis man ikke samtidig høstet erfaring med bruk av teknologien. Erfaringskurver kan derfor være et hensiktsmessig verktøy.

Produksjon av energi fra nye, mindre miljøfiendtlige kilder kan pr. i dag ikke konkurrere med energi fra tradisjonelle kilder. Ut fra det man vet om læringskurver for andre teknologier, forventes det imidlertid at grønne energiteknologier kan bli vesentlig billigere i fremtiden. Mange tar derfor til ordet for at myndighetene skal støtte fremveksten av slike teknologier ved å innføre en ordning med grønne sertifikater.

På den ene siden kan grønne sertifikater sidestilles med et produksjonssubsidie til grønne energiformer. Et slikt subsidie kan forsvares når private bedrifter ikke vil satse tilstrekkelig på grønne energiteknologier fordi det er store positive eksternaliteter i læring. Det innebærer at det er vanskelig å få til lønnsom drift som første bedrift så lenge andre bedrifter kan dra nytte av den første bedriftens erfaringer, og således utkonkurrere denne på et senere tidspunkt når grønne teknologier er blitt konkurransedyktige. Stimulans av produksjonen gjennom grønne sertifikater vil motvirke dette ved at det blir billigere å etablere seg, og kan også indirekte medføre økt satsing på forskning for de mest modne grønne teknologiene. Imidlertid vil ukjente og mer umodne grønne teknologier få liten stimulans av grønne sertifikater. Man kan derfor risikere lock-out av lovende teknologier med mindre forskningsstøtte også iverksettes.

Mer spesifikt kan virkemidlet grønne sertifikater brytes opp i en skatt på den negative miljøeksternaliteten knyttet til ikke-grønne teknologier, og et subsidie til den positive eksternaliteten som ligger i utviklingen av de grønne teknologiene. Et sertifikatmarked kan derfor sies å transformere to virkemidler til ett på en noe upresis måte. Siden man bruker ett instrument til å korrigere for to ulike eksternaliteter, kan man ikke forvente at både omfanget av den implisitte skattleggingen av den negative miljøeksternaliteten og størrelsen på den implisitte subsidieringen av den grønne teknologien er optimalt samfunnsøkonomisk sett.

Prosjektstøtte: Takk til Olje- og energidepartementet som har finansiert dette prosjektet.

Innhold

1. Innledning.....	7
2. Læringskurver.....	8
3. Empiriske analyser	9
4. Noen mekanismer bak erfaringskurver – FOU	11
5. Mulige grunner for offentlig stimulering av grønne teknologier	13
6. Sertifikater og subsidier	16
7. Sertifikater og læring	18
8. Styringseffektivitet og kostnader	20
9. Oppsummering	22
Referanser	23
De sist utgitte publikasjonene i serien Rapporter	25

1. Innledning

Empiriske studier viser at introduksjon av nye teknologier innenfor mange områder, blant annet energiområdet, kan innebære høye enhetskostnader. Imidlertid tyder mye på at en gjennom læring kan redusere kostnadene betydelig. Et hovedspørsmål innenfor litteraturen om læring er hvor sterk denne effekten er, om en kan skille denne effekten fra effekten som kommer fra generell forskning og utvikling, og i hvilken grad det trengs støtte til slike teknologier eller om det private markedet også kan finne det lønnsomt å gå inn i umodne teknologier. Et tilleggsspørsmål er hvorvidt en kan skille slike læringseffekter fra eventuelle stordriftsfordeler. Det hadde vært ønskelig om en kunne skille disse læringseffektene fra effekten av andre stimuli for å kunne utforme en god politikk på områder som det fra samfunnet sin side er ønskelig å fremme. Hvis markedet selv ikke går inn på slike teknologier vil neste spørsmål være i hvilken grad myndighetene kan gå inn med virkemidler for å sette i gang læreprosesser som kan bidra til å redusere kostnadene ved å ta teknologiene i bruk. Her kan sertifikatordninger, en kombinasjon av avgifter og subsidier, og satsing på forskning og utvikling (FOU) være alternativer eller supplement.

Resten av denne rapporten er organisert som følger: I kapittel 2 diskuteres hva en skal forstå med læring eller rettere hva en i litteraturen har vært opptatt av i denne sammenheng. I kapittel 3 gjennomgås en del studier i litteraturen omkring læringseffekter på kostnader for umodne teknologier. I kapittel 4 diskuteres i hvilken grad FOU og andre mekanismer ligger bak erfaringskurvene, mens kapittel 5 tar for seg mulige grunner for offentlig stimulans av grønne teknologier. Kapittel 6 gir en prinsipiell diskusjon av ulike virkemidler, og en vurdering av hvordan sertifikatordninger kan medføre kostnadsreduksjoner gjennom læring. I kapittel 7 diskuteres styringseffektivitet i forhold til virkemiddelbruk, mens kapittel 8 oppsummerer.

2. Læringskurver

Snevert definert beskriver *læringskurver* en stigende sammenheng mellom arbeidskraftens grenseproduktivitet og akkumulert produksjon av en bestemt produkttype hos en gitt produsent. Grunnlaget for hypotesen om at det er akkumulert produksjon som øker arbeidernes effektivitet og ikke f.eks. antall år produksjonen har foregått, er at bare erfaring med faktisk produksjon kan øke arbeidernes ferdigheter og kompetanse. Denne sammenheng ble tidlig observert i flyindustrien bl.a. av Wright (1936)¹, som fant at forbruket av timer pr. produserte flyskrog var fallende i det samlede antallet av produserte flyskrog. Wright (1936) fant også at effekten var avtagende, og at en dobling av akkumulert produksjon stadig ga mindre utbytte i form av økt effektivitet.

En lignende type sammenheng er senere funnet for en rekke andre områder (se Dutton og Thomas (1984)²). I senere studier har man imidlertid gått bort fra å studere spesifikt arbeidskraftens effektivitet for isteden å fokusere på totale kostnader pr. enhet. Siden kostnader inkluderer mer enn bruk av arbeidskraft, har vi her å gjøre med en bredere definisjon av *læringskurver* - gjerne kalt *erfaringskurver* (jf. Boston Consulting Group (1968) som introduserte dette begrepet). Erfaringskurver vil i tillegg til læring inkludere effekten av bedre produksjonsteknologi, produktvarianter det er enklere å produsere, organisasjonsutvikling, mer trent ledelse etc.

Mange studier har også gått over fra å se på en bestemt bedrift til en hel bransje. Implisitt ligger det da gjerne en forutsetning om at den opparbeidete erfaringen i en bedrift til en viss grad kommer alle bedriftene i bransjen til gode. Dette kalles gjerne spillovereffekter. Vi vil komme mer tilbake til dette tema i kapittel 5.

Mange studier har vist at følgende sammenheng gir en god statistisk beskrivelse av erfaringskurver:

$$(2.1) \quad k(t) = K_0 * x(t)^{-E}$$

hvor kostnadene pr. enhet av en bestemt produkttype på tidspunkt t er gitt ved $k(t)$, og akkumulert produksjon av produkttypen på tidspunkt t er gitt ved $x(t)$. K_0 er kostnaden pr. enhet når akkumulert produksjon er lik 1, dvs. kostnadene for den første enheten. Videre uttrykker E *graden av læring*. En høy E gir et stort fall i kostnadene for hver økning av akkumulert produksjon, mens det for en lav E er motsatt. Ved å sette (1) på logaritmisk form får vi:

$$(2.2) \quad \ln k(t) = \ln K_0 - E * \ln x(t)$$

Erfaringskurven kan dermed illustreres som en rett linje i et diagram med logaritmisk skala. Det betyr at den *avtagende effekten* på enhetskostnadene av akkumulert produksjon ikke kommer like godt frem. På den annen side er det lettere å studere skift i kurven som følge av teknologiske gjennombrudd o.l. Videre blir det lettere å sammenligne erfaringskurver for ulike teknologier.

Helningen i ulike erfaringskurver blir ofte målt ved hjelp av den såkalte *progress ratio* (PR). Det er denne som er angitt i parentes i Figur 3.2 og 3.3 under. PR uttrykker fallet i enhetskostnadene ved en dobling av akkumulert produksjon. F.eks. betyr en PR på 0,8 at enhetskostnadene er 80% av tidligere nivå etter en dobling av akkumulert produksjon. Rent formelt kan dette uttrykkes:

$$(2.3) \quad PR = K_0 * [2 * x(t)]^{-E} / K_0 * [x(t)]^{-E} = 2^{-E}$$

Pga. den spesielle formen på erfaringskurven (1) blir PR en konstant. Noen ganger vil man også møte begrepet *læringsrate*. Læringsraten er gitt som $(1-PR)$. Mao. betyr en læringsrate på 0,2 at enhetskostnadene synker med 20% hver gang produksjonen dobles.

¹ Referert i Arrow (1962)

² Referert i IEA Experience Curves for Energy Technology Policy (2000) og Goldemberg (1996)

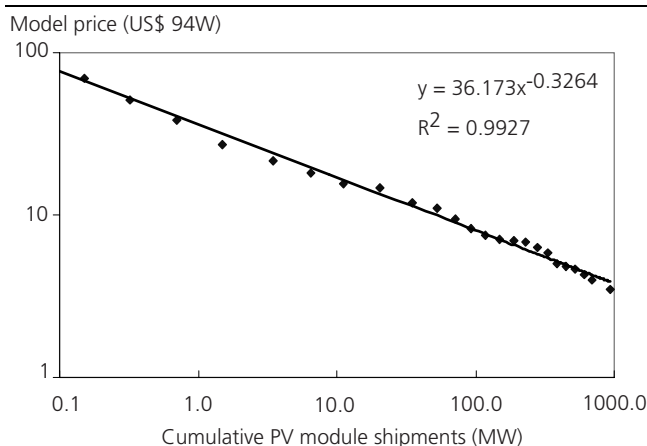
3. Empiriske analyser

I litteraturen er det gjort flere studier av mulige sammenhenger mellom læring og enhetskostnader ved ulike teknologier, se for eksempel Schrattenholzer (2002). Innenfor energi er et av de mest kjente eksemplene utviklingen i kostnader for solcellepaneler. Her har det blitt observert en tilnærmet konstant læringsrate på 20 prosent over flere doblinger av de kumulative salgene av denne teknologien, se figur 3.1. Aksene er logaritmiske slik at erfaringskurvene fremstår som rette linjer. Langs y-aksen er *pris pr. watt* avsatt, mens akkumulert produksjon målt i *antall produserte megawatt* er avsatt langs x-aksen.

Figur 3.2 viser erfaringskurven for en annen grønn teknologi, nærmere bestemt etanol drivstoff i Brasil (Goldemberg, 1996). I stedet for kostnader er her prisdata brukt som utgangspunkt for å estimere erfaringskurven. Som vi ser flater kurven kraftig ut i 1990. Ifølge Goldemberg skyldes dette at den teknologiske fremgangen man hittil hadde hatt med etanolproduksjon stagnerte.

Figur 3.2 illustrer også problemet med å bruke erfaringskurver til fremskrivninger. Dersom man i 1989 hadde basert sin satsning på et forløp som i årene før, ville man ha tatt feil m.h.t. fremtidige enhetskostnader, og kanskje allokert for mye ressurser til denne teknologien.

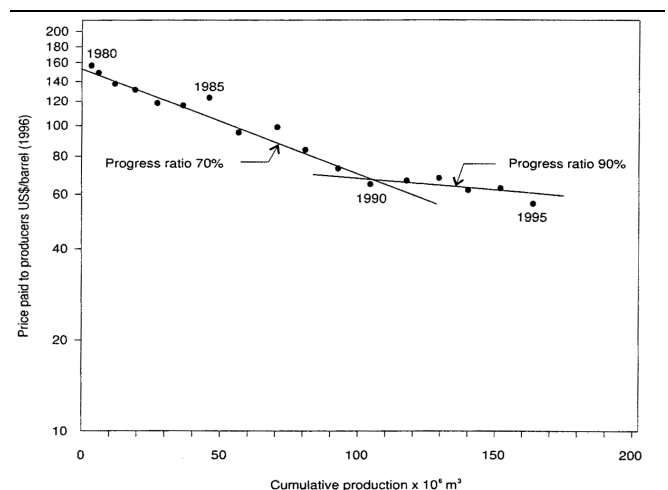
Figur 3.1. Erfaringskurve for solcellepaneler



Kilde: Schrattenholzer (2002)

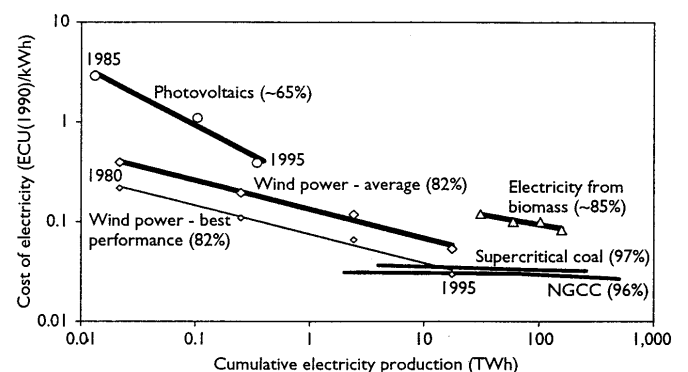
I figur 3.3 er det gjengitt flere erfaringskurver for ulike energiteknologier med spesiell fokus på såkalte grønne teknologier, se IEA (2000). Som vi ser er samtlige kurver fallende, men i varierende grad. Det er spesielt solceller som viser en lovende utvikling, se også figur 3.1. En annen studie (Harmon 2000) viser noe lavere kostnadsreduksjoner for solceller. Denne studien spenner imidlertid over både et lengre tidsrom dvs. fra 1968 til 1998, og inkluderer USA og Japan.

Figur 3.2. Erfaringskurve for drivstoffet etanol i Brasil

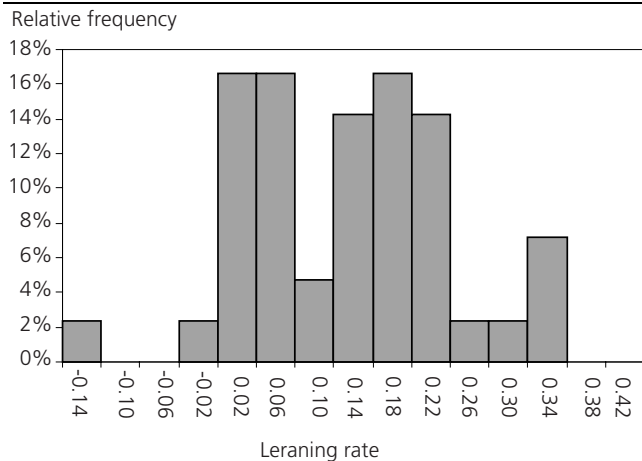


Kilde: Goldemberg (1996)

Figur 3.3. Erfaringskurver for grønne teknologier

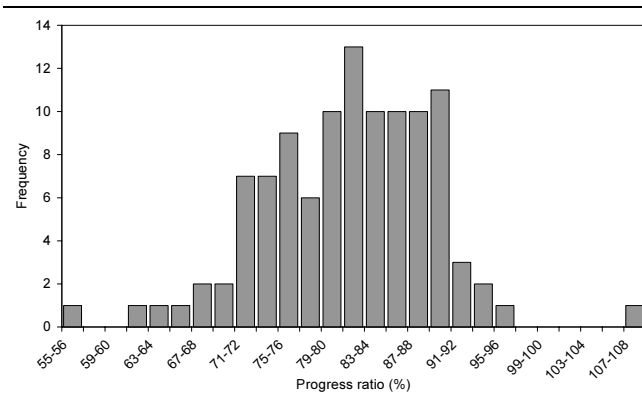


Kilde: IEA (2000), side 21 (Bortsett fra Supercritical Coal, som er basert på en amerikansk undersøkelse, refererer undersøkelsen seg til gjennomførte installasjoner i EU i perioden 1980-1995. NGCC er forkortelse for Natural Gas Combined Cycle.)

Figur 3.4. Fordeling av læringsrater for 42 energiteknologier.

Kilde: Schrattenholzer (2002)

En del studier har vist at relasjonen som er gjengitt i (2.1) ikke alltid gir en like god beskrivelse av dataene. I slike tilfeller vil man ofte kunne finne en bedre tilpasning ved å lete etter teknologiske, markedsmessige eller institusjonelle brudd med tidligere forutsetninger, og så estimere to forskjellige erfaringskurver før og etter bruddet. Erfaringskurven kan da få et skift, enten vertikalt til et nytt leie med samme PR, eller en knekk som gir en annen PR.

Figur 3.5. Læringskurver for ulike industrier

Kilde: Dutton and Thomas (1984)

Schrattenholzer (2002) har forsøkt å oppsummere læringsratene for 42 energiteknologier som er studert i McDonald and Schrattenholzer (2001). Disse er gjengitt i figur 3.4. Denne viser at en læringsrate på 20 prosent som for solcellepaneler ikke er uvanlig for svært mange teknologier. Om lag halvparten av læringsratene er mellom 14 og 22 prosent.

Videre viser enda mer omfattende undersøkelser som også inkluderer *bransjer* utenfor energisektoren, at PR gjerne ligger på fra 70 til 90%. Dutton og Thomas (1984) sammenfatter PR fra 22 ulike studier av til sammen 108 case, se figur 3.5. Studiene er gjennomførte på firmanivå, og omfatter elektronikkindustri, maskindeleproduksjon, bil-, skips- og fly- produksjon, papirproduksjon etc. Alle studiene er basert på data for enhetskostnader og akkumulert produksjon. Sammenligner vi med Figur 4 ser PR for grønne teknologier ut til å passe godt med det mer generelle bildet.

4. Noen mekanismer bak erfaringskurver – FOU

Den empiriske forskningen på erfaringskurver gir altså klare signaler om at enhetskostnadene ved nye teknologier faller når akkumulert produksjon øker. Et viktig spørsmål er om kostnadsfallet utelukkende kan tilskrives økt erfaring (se f.eks. Wörten, 2002, og Jensen mfl., 2002). Prosessen beskrives ofte som en svart boks, der man kun observerer en signifikant sammenheng mellom to størrelser. Diskusjonen over har imidlertid også vist at det er gode grunner for å tro at erfaring gir reduserte kostnader. I det påfølgende vil vi diskutere hvilke andre faktorer som kan ha påvirket kostnadsfallet som er observert, og hvordan disse henger sammen med erfaring (Wörten, 2002, foreslår hvordan man kan ta hensyn til andre mekanismer i en empirisk studie).

Forskning og utvikling (FoU) er her sentralt. For det første er det vanskelig å skille mellom ren erfaring og bevisst satsing på forskning og utvikling (FoU). De fleste modeller for læring forutsetter at det er et spill mellom disse to, samtidig som de har ulik betydning på ulike stadier (se f.eks. Grübler mfl., 1999). I begynnelsen er FoU innsats viktigst - målet er f.eks. å utvikle en ny teknologienhet. Når enheten er utviklet, blir den utprøvd i mindre skala. Erfaring og FoU-innsats går nå hånd i hånd. Etter en tid med prøving og feiling i liten skala internt i bedriften, startes gjerne en form for kommersialisering i nisjemarkeder. I disse første fasene skjer som oftest den største kostnadsreduksjonen. Fortsatt er det slik at erfaringen som gjøres blir absorbert av de som jobber med FoU, som bruker erfaringen til å redusere kostnadene.

Dette viser at erfaringskurvene ikke kan opptre i samme grad uten parallell satsing på FoU. Imidlertid er det ofte vanskelig å finne gode data for FoU, slik at erfaringskurvene ikke tar hensyn til dette. I en japansk studie av fotoceller (Watanabe, 1995) blir både offentlige og private FoU utgifter til forskning inkludert. Grübler mfl. (1999) bruker hans resultater til å konstruere en modifisert erfaringskurve der enhetskostnadene er en funksjon av akkumulerte investeringer (målt i Yen) i produksjonskapasitet og FoU. Jespersen (2002) forsøker i en økonometrisk studie av dansk vindmølleindustri å splitte den observerte kostnadsre-

duksjonen for danske vindmøller på henholdsvis ren læring gjennom erfaring og på målrettet forskning og utvikling. Han finner at effekten pr. støttekrone av målrettet forskning er langt høyere enn effekten pr. støttekrone for anleggstilskudd og produksjonstilskudd. Læring gjennom sertifikatordninger kan i mange sammenhenger minne om produksjonstilskudd, men da langs en helt spesifikk dimensjon for grønne energi teknologier. Dessuten er finansieringen av satsingen ikke direkte, men går gjennom markedet.

Erfaringskurvene har også blitt kritisert av bl.a. Hall and Howell (1985), fordi den observerte sammenhengen mellom akkumulert produksjon og enhetskostnader like gjerne kan skyldes *skalaeffekter*. Dersom det er økende skalautbytte i produksjonen, vil enhetskostnadene falle etter hvert som den nye teknologien får økt markedsadgang, dvs. ettersom akkumulert produksjon vokser. Det er grunn til å tro at størrelsen på markedet i noen tilfeller kan begrense utnyttelsen av skalafordelene. Samtidig er det slik at mye av den skalaøkningen eller kapasitetsøkningen som observeres, ikke ville vært mulig uten teknologisk framgang. Erfaringen som gjøres ved bruk av en teknologienhet fører ikke bare til reduserte kostnader ved å produsere den samme enheten, men gir kunnskaper til å konstruere enheter med større kapasitet. Dvs. at det ikke alltid er markedets størrelse som setter begrensning på utnyttelse av skalafordeler. Dersom de observerte læreeffektene i første rekke skyldes at man lærer å produsere enheter med større kapasitet til en lavere enhetskostnad, og ikke at enheter med samme kapasitet kan produseres billigere, vil læreeffektene på sikt kunne begrenses hvis markedet ikke er stort nok. I en studie av kullkraftverk finner imidlertid Joskow and Rose (1985) at erfaring har direkte effekter på kostnadene også når skalaeffektene tas hensyn til. På den annen side finner Neij (1997,1999) i en studie av vindturbiner i Danmark en læringsrate på 8 prosent når alle turbiner ses under ett, og nær 0 når de sorteres i grupper med samme størrelse.³

³ Ifølge Wörten (2002).

Selv om erfaringskurvene forutsetter at enhetskostnadene faller jevnt og trutt, er dette ofte ikke tilfelle. I læringssystemet som er beskrevet over, der bevisst satsing på FoU er en viktig faktor, kan en viktig del av kostnadsreduksjonene skje gjennom *teknologiske gjennombrudd*. Det kan f.eks. være at man klarer å utvikle en ny og bedre enhet, eller plutselig klarer å øke kapasiteten til en enhet betydelig (jf. diskusjonen over). I så fall burde erfaringskurvene vært delt i tre faser: før, under og etter gjennombruddet. Før og etter gjennombruddet vil læreraten være moderat, mens den er svært høy i overgangsfasen. Dersom man forsøker å estimere en felles kurve, vil resultatet være svært følsomt for hvor lang tidsserien er. Dersom man f.eks. kun har data for en mindre periode rundt gjennombruddet, vil man kunne få høye lærerater som ikke er forenlig med den faktiske utviklingen over tid. Et eksempel på et slikt teknologisk gjennombrudd er skifte i solcelleteknologi knyttet til svømmebassenger i Tyskland, som skjedde på midten av 1980-tallet. Ifølge IEA (2000) var læreraten i overgangsfasen 45-50 prosent, mens læreraten for hele perioden 1975-93 (dvs. før, under og etter skiftet) var 30 prosent.

Et annet problem er at det i noen tilfeller kan være vanskelig å skille ut læreeffekten knyttet til den enkelte teknologien fra den *generelle teknologiske utviklingen*. Det gjelder spesielt når teknologien begynner å bli moden, og kostnadene ikke faller like hurtig fra år til år. Den teknologiske kompetansen i samfunnet øker over tid, og dette vil også påvirke kostnadene ved å produsere nye teknologier. Mer generelt, ettersom akkumulert produksjon er sterkt korrelert med tiden, kan det være vanskelig å skille ut læringseffekten fra andre faktorer som påvirker kostnadene og som endres over tid (den generelle prisutviklingen tas selvsagt hensyn til), se Joskow og Rose (1985).

Hittil har vi fokusert på enhetskostnader, og årsaker til at de kan falle. Et annet problem med erfaringskurver er imidlertid at kostnader ofte ikke er observerbare. I stedet er man tvunget til å studere priser, dvs. hvilken pris teknologien selges for i markedet. I et frikonkurransemarked vil priser som oftest reflektere enhetskostnader, men i.f.m. utvikling av nye teknologier er det gjerne *ufullkommen konkurranse* (I sertifikattilfellet er dette blant annet diskutert av Bye et al (2002)). Et typisk forløp (jf. Boston Consulting Group, 1968) er at produsenten av en grønn teknologi initialt setter prisen under enhetskostnaden for å komme inn på markedet, med håp om at bl.a. erfaring skal få ned kostnadene etter noe tid, og dermed spare inn de initiale utgiftene. Ettersom kostnadene faller, vil prisen derfor opprettholdes. Dette er mulig fordi produsenten gjerne har markedsrett. Etter hvert som teknologien blir mer utbredt, vil flere konkurrenter komme til og presse prisen nedover. Til slutt faller prisen helt ned til enhetskostnadene. I dette tilfellet vil vi altså kunne oppleve et lignende forløp som ved teknologiske gjen-

nombrudd, ved at læreprosessen tilsynelatende skjer i svært ulikt tempo. IEA (2000) nevner flere eksempler på dette fenomenet, f.eks. fotocellemoduler.

For et lite land som Norge, er det viktig å diskutere om læringen skjer *nasjonalt eller globalt* (jfr. også diskusjonen av dette aspektet ved grønne sertifikatordninger i Bye et al (2002)). De fleste grønne teknologier utvikles internasjonalt, og læreeffekten skjer på tvers av landegrensene. Det betyr at det er akkumulert produksjon globalt som først og fremst betyr noe for kostnadsutviklingen, ikke akkumulert produksjon i Norge. Det er f.eks. ikke slik at en dobling av akkumulert kraftproduksjon fra solceller i Norge vil redusere kostnadene med 15-20 prosent (jf. læreratene referert over), ettersom det i første rekke er den globale produksjonen som teller. Motsatt vil man i Norge kunne oppleve betydelige kostnadsfall sett i forhold til akkumulert produksjon innenlands som følge av spillover effekter fra utlandet, dersom bruken av teknologien vokser raskere internasjonalt enn i Norge. IEA (2000) nevner som eksempel kostnadene ved kombinerte gasskraftverk. Her har den globale læreraten vært 10 prosent, mens læreraten i EU har vært bare 4 prosent. Det henger sammen med at EU's andel av den globale produksjonen har økt betydelig gjennom 1990-tallet, slik at den relative økningen i EU's akkumulerte produksjon har vært mye større enn den relative økningen globalt.

På den annen side vil noen av kostnadene være landspesifikke, f.eks. å knytte elektrisitetsproduksjonen fra grønne teknologier opp mot det nasjonale kraftnettet. Her vil innenlandsk bruk selvsagt være viktig for å få erfaring. I det hele tatt er det viktig å dele opp de totale kostnadene ved bruk av grønne teknologier i ulike komponenter, der selve teknologien(e) utgjør en komponent og implementeringen en annen. Selv om det vil være læreeffekter på tvers av disse komponentene, vil utviklingen av enhetskostnadene for de ulike komponentene i stor grad være bestemt av ulike faktorer.

5. Mulige grunner for offentlig stimulering av grønne teknologier

I diskusjonen av hvorvidt det bør føres en aktiv politikk ovenfor grønne teknologier med erfaringskurver, er det særlig to forhold vi vil se nærmere på:

- Graden av imperfekt konkurranse, dvs. markedet for grønne teknologier kan være kjennetegnet av få produsenter.
- Graden av spillover mellom bedrifter som utvikler grønn teknologi, dvs. i hvilken utstrekning erfaringer gjort av en bedrift blir tilgjengelige for andre bedrifter.

Satsning på grønne teknologier begrunnes ofte ut fra miljøargumenter. Prinsipielt tilsier imidlertid miljøargumentet en restriktiv politikk rettet mot de tradisjonelle energikildene i stedet for stimulans av grønn energi. Da vil man kunne nå miljømålene ikke bare ved å erstatte en type energi med annen type energi, men også ved at resten av økonomien innretter seg på en mer energi effektiv måte. Dette kommer vi tilbake til i de neste kapitlene.

Vi vil starte med å se på tilfellet hvor erfaringskurven er strengt bedriftsspesifikk, dvs. det er ingen spillovereffekter, samtidig som negative eksternaliteter knyttet til konkurrerende produkter (energikilder) er internalisert (dvs. ikke-grønn energi er f.eks. skattlagt). Dette er også utgangspunktet til fjorårets Nobelprisvinner i økonomi, A. M. Spence, i hans analyse av konkurranseforholdene i bransjer med læringskurver, jf. Spence (1984).

Først finner Spence tilpasningen til en tenkt monopolist. Det forutsettes at monopolisten kjenner sin egen erfaringskurve, og at monopolisten skal produsere i en bestemt tidsperiode f.eks. fra nå til tidspunkt T. Monopolisten vil ta inn over seg at dersom han produserer én enhet mer nå, så vil enhetskostnadene i all framtid også være mindre (pga. én enhet høyere akkumulert produksjon). Monopolisten vil derfor ikke sette grenseinntekt lik *periodens* grensekostnad slik som i vanlig monopolteori, men sette grenseinntekt lik *fremtidig* grensekostnad. Prisen vil dermed kunne ligge under periodens enhetskostnad i starten av et produkt livssyklus, og bedriften vil også kunne gå med underskudd i de første periodene. Det er med andre

i de første periodene. Det er med andre ord ikke noe selvstendig grunnlag for å subsidiere en grønn teknologi at den grønne teknologien er for dyr nå, men ventes å kunne bli lønnsom en gang inn i fremtiden. En monopolist vil selv se dette, og kunne ta tap nå for å høste i fremtiden.

På den annen side viser Spence at monopolistens tilpasning ikke er optimal fra et samfunnsøkonomisk synspunkt. Fordi monopolisten setter fremtidig grensekostnad lik grenseinntekt og ikke lik pris, vil produsert kvantum hele tiden være for lite og bevegelsen ned erfaringskurven for langsom. Imidlertid vil ingen bedrift kunne overleve dersom den satte fremtidig grensekostnad lik pris da bedriften i så tilfelle ville gå med underskudd i alle perioder bortsett fra den siste. Analysen av optimal politikk i tilfellet med læringskurver har med andre ord mye til felles med teorien om naturlige monopoler, og litteraturen om reguleringen av disse vil også ha anvendelse på monopoler med læringskurver.

Spence analyserer videre etablering av nye bedrifter ved hjelp av en simulerings modell. For det første finner han at læringsraten har mye å si for i hvilken grad nye bedrifter vil etablere seg. Dersom læringsraten er høy, vil det være lett for nye bedrifter å bevege seg nedover erfaringskurven og forholdsvis mange vil etablere seg i markedet. Dette gjelder også dersom læringsraten er lav. Da vil den første bedriften ha problemer med å skaffe seg et tilstrekkelig stort forsprang, og mange bedrifter vil følge etter. Tendensen til oligopol er størst dersom læringsraten er middels høy dvs. den første bedriften kan opparbeide seg et forsprang, og det er ikke så enkelt å ta igjen dette forspranget for nye bedrifter.

For det andre finner Spence at velferdstapet grunnet imperfekt konkurranse ikke er så stort så lenge markedet fungerer dvs. det forblir ikke et monopol, men utvikler seg til et oligopol. I det siste tilfellet vil akkumulert produksjon ikke avvike mye fra det samfunnsøkonomisk optimale. Dette fordrer at bedriftene kan gå med underskudd i de første periodene. Dersom vi også har imperfeksjoner i kredittmarkedet og/eller aksjemarkedet, kan dette selvfølgelig være vanskelig.

Som et spesialtilfelle, kan det hende at etterspørselen etter grønn energi er for lav til at selv et monopol blir lønnsomt, til tross for at det er samfunnsøkonomisk optimalt å benytte den grønne teknologien. Mer sannsynlig er det likevel at markedet for grønne teknologier vil utvikle seg *for sakte* i forhold til det samfunnsøkonomisk optimale jf. analysen til Spence (1984). Dvs. at et monopol/oligopol etablerer seg uten offentlig hjelp, men at omfanget av tilbudet fra et samfunnsøkonomisk synspunkt er for lite. Det kan selvfølgelig også tenkes at enkelte grønne teknologier rett og slett ikke bør utvikles dvs. til tross for at enhetskostnadene vil falle pga. læring, vil de aldri falle nok til at det er samfunnsøkonomisk lønnsomt å benytte teknologien.

Det er viktig å huske på at et monopol, eventuelt et oligopol, kan være privatøkonomisk lønnsomt selv om teknologien er kjennetegnet ved erfaringskurver. Erfaringskurven fungerer som en etableringsbarriere, og gjør det mulig å forsvare negativ profitt i oppstartfasen. Dette gjelder i hvert fall så lenge det ikke er utstrakte spillover effekter mellom bedrifter, se mer nedenfor. Etter vår mening er det grunn til å tenke seg godt om dersom man sto ovenfor et tilfelle hvor øvrige eksternaliteter var internalisert (dvs. optimale avgifter på ikke-grønn energi og ingen spillover effekter), og ingen private aktører ville ta opp produksjonen av en bestemt type grønn teknologi uten ekstra subsidier. Det er grunn til å tro at de som ønsker å ta opp produksjonen av en grønn teknologi og etterspør subsidier for å gjøre dette, også er de som kjenner de fremtidige læringsmulighetene for teknologien best. Kravet om subsidier kan derfor tolkes som en indikasjon på at denne typen grønn teknologi ikke har nok potensial til at den bør utvikles fra et samfunnsøkonomisk synspunkt.

Vi har så langt ikke trukket inn spillovereffekter. Med spillover effekter menes at bedrifter lærer av hverandre, slik at en bedrifts produktivitet påvirkes av det som foregår i andre bedrifter. Det kan f.eks. være at erfaringer som gjøres i en bedrift blir delvis fanget opp av andre bedrifter, enten ved at bedriftene observerer hverandres atferd, eller at arbeidskraften flytter mellom bedriftene. En annen mekanisme kan være at når en bedrift utvikler en ny teknologienhet, er det vanskelig for bedriften å høste alle gevinster av utviklingen i markedet. Selv om den vil ha patent i en viss periode, vil det være gevinster å hente for andre bedrifter i senere perioder. Den nye teknologienheten vil dessuten kunne gi andre bedrifter nye ideer til å utvikle lignende (men ikke for like) enheter. På den annen side vil utviklingen av nye teknologienheter kunne redusere nytteverdien av eksisterende enheter, og dermed ha en negativ spillovereffekt.

Spillovereffekter kan skje både internt i et land og på tvers av landegrensene. Det gjelder ikke minst i utviklingen av grønne teknologier, der teknologiutviklingen og anvendelsen foregår i flere land parallelt. Samtidig

har det gjerne vært slik at noen land har vært dominerende på en del teknologier. Det gjelder f.eks. solcelleteknologi, der Japan og til dels USA har vært foregangsland.

Det er vanskelig å anslå hvor stor andel av læreraten i erfaringskurvene som kan skyldes bedriftsintern erfaring, og hvor stor andel som skyldes spillovereffekter. De fleste nyere studier av erfaringskurver er basert på utviklingen på bransjenivå, dvs. man sammenligner utviklingen i enhetskostnader med utviklingen i akkumulert produksjon av en bestemt teknologi, ikke i en bestemt bedrift. I og med at disse studiene jevnt over finner signifikante læringseffekter, indikerer det at spillover effekter er viktige. I en studie av kullkraftverk forsøker Joskow og Rose (1985) å skille mellom bedriftsinterne erfaringer og erfaringer på bransjenivå. De finner signifikante effekter av begge faktorene, men det er vanskelig å tolke resultatene utover det. Gustavsson mfl. (1999) finner empirisk belegg for spillovereffekter både på bransjenivå, på tvers av bransjer, samt indikasjoner på globale spillovereffekter.⁴

Hvorfor er det viktig å diskutere spillovereffekter i politikk sammenheng? Dersom all læringseffekten skjer internt i bedriften, dvs. ingen spillovereffekt, vil bedriften ta inn over seg den framtidige læringseffekten i sine beslutninger. Hvis produksjon av teknologien er samfunnsøkonomisk lønnsom, vil den dermed også være privatøkonomisk lønnsom (her ses det bort fra problemet med ufullkommen konkurranse diskutert over). Det er dermed ingen grunn for det offentlige å gripe inn i markedet. Et moment som forstyrrer denne argumentasjonen, er usikkerhet. Framtidige erfaringskurver er selvsagt svært usikre, og små endringer i læreraten kan ha store konsekvenser for når kostnadene ved en teknologi faller til et bestemt nivå. En risikoavers investor vil dermed kunne være skeptisk til å satse på en slik teknologi, selv om forventet lønnsomhet er positiv. Dette kan tale for at myndighetene likevel bør gripe inn med støtte i den tidligste fasen, og trekke seg ut når usikkerheten er tilstrekkelig liten. Spørsmålet er imidlertid om myndighetene har god nok informasjon til å peke ut hvilke teknologier som er lønnsomme i det lange løp. En informasjonsfordel myndighetene har sammenlignet med private investorer, er at myndighetene i stor grad bestemmer rammebetingelsene. Det er ikke minst viktig for grønne energiteknologier, der miljø- og energipolitiske virkemidler (f.eks. CO₂-avgifter) kan være av stor betydning for lønnsomheten.

Dersom det er spillovereffekter mellom bedrifter (eller bransjer) innenlands, kan det tale for å innføre positive virkemidler i form av f.eks. subsidier. Erfaringskurvene tilsier at det er omfanget av produksjonen som medfører økte kunnskaper, slik at virkemidlene bør innrettes

⁴ Denne studien tar ikke for seg grønne teknologier spesielt.

mot å stimulere produksjonen av grønne teknologier. Dette er også i stor grad budskapet i IEA (2000). Slike virkemidler kan også begrunnes ut fra poenget med imperfekt konkurranse nevnt over (jf. analysen til Spence, 1984). Diskusjonen av erfaringskurver over viste imidlertid at disse kurvene inkorporerer ulike årsakssammenhenger, ikke minst kan FoU være av stor betydning for kostnadsreduksjonen. Dersom målrettet FoU er hovedkilden til den observerte effektiviseringen, og FoU arbeidet kan skje uten en stor produksjon av den bestemte grønne teknologien, vil andre virkemidler være bedre egnet.

6. Sertifikater og subsidier

I forbindelse med energiteknologier kan man altså se for seg tre typer av markedssvikt:

- Miljøkternaliteten; dvs. at prisen på energi fra tradisjonelle teknologier kan være for lav
- Imperfekt konkurranse; dvs. at markedet for grønne teknologier kan være for lite utviklet
- Spillovereffekter; dvs. at læringseffektene går på tvers av bedrifter

Det er velkjent innenfor økonomisk teori at dersom man har flere typer av markedssvikt, bør man også ha flere politikkinstrumenter. La oss først anta at vi skal ta hensyn til to av dem; miljøkternalitet ved tradisjonell energi og spillovereffekter for grønne teknologier. Det betyr avgifter på den første og subsidier på den andre. Hvordan henger grønne sertifikater sammen med dette?

La oss forsøke å formalisere dette, se Bye (2002): Anta at vi har et tradisjonelt energimarked med tilbud $g(p)$ og etterspørsel $f(p)$ etter energi som er avhengig av prisen p på ordinær energi

$$(6.1) \quad g(p) = f(p) .$$

La oss nå anta at vi innfører en plikt for forbrukerne til å kjøpe grønne sertifikater med en viss andel av deres etterspørsel etter ordinær energi. Denne andelen er lik α . Etterspørselen etter energi kan da skrives

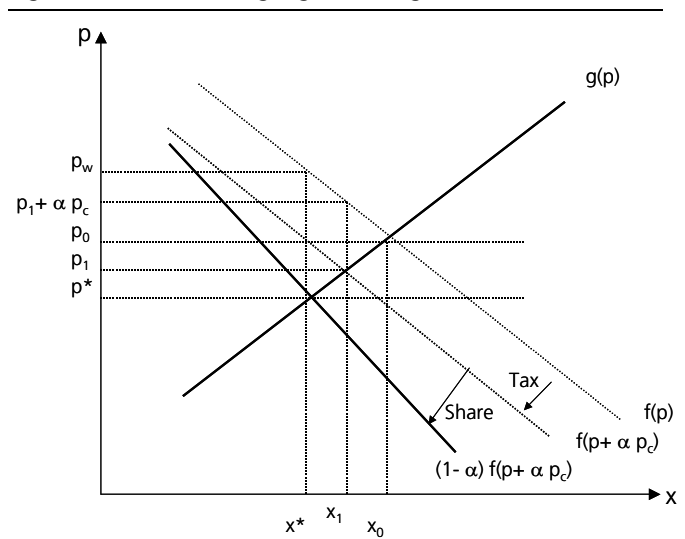
$$(6.2) \quad E = f(p + \alpha p_c)$$

der forbrukerne må betale en pris for energien som er sammensatt av en energipris p og en sertifikatpris αp_c . Sertifikatprisen er bestemt i markedet, og avhenger bl.a. av andelen α og av kostnaden ved den grønne teknologien p_c . Nå kan markedet for ordinær energi skrives som

$$(6.3) \quad g(p) = (1 - \alpha)f(p + \alpha p_c)$$

det vil si at tilbudet av ordinær energi $g(p)$ er lik en andel av den totale etterspørselen. For en mer utførlig beskrivelse se Bye (2002).

Figur 6.1. Sertifikater og avgifter i energimarkedet



I figur 6.1 viser vi dette markedet for ordinær energi. Tilbudskurven $g(p)$ er stigende og etterspørselen i tilfellet uten grønne krav $f(p)$ er fallende. Likevekten er i (x_0, p_0) . La oss i første omgang se bort fra endringer i tilbudet og konsentrere oss om etterspørselseffekter i det ordinære markedet. Det siste leddet i etterspørselen, $f(p + \alpha p_c)$, tilsvarer helt et tilfelle med avgift på kjøp av energi der "avgiften" er lik αp_c . Etterspørselskurven skifter nedover. Hvis intet annet skjedde, ville likevekten bli i (x_1, p_1) , mens kjøper må betale $p_1 + \alpha p_c$. Den eneste forskjellen fra et avgiftstilfelle er nå at avgiften i dette tilfellet er endogen og avhengig av den marginale kostnaden ved å gjøre grønne teknologier tilgjengelig. Multiplikatoren $(1 - \alpha)$ på etterspørselsiden vrir i tillegg etterspørselskurven rettet mot tradisjonell energi innover mot x-aksen. Dette gir en ny likevekt i (x^*, p_w) med kjøperpris p_w .

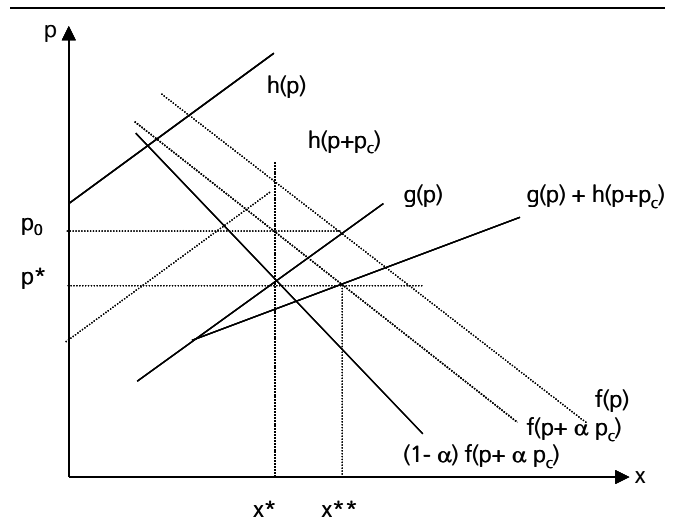
La oss nå inkludere det grønne markedet også, se figur 6.2. Vi kjenner igjen markedet fra figur 6.1. I tillegg har vi introdusert en initial tilbudskurve for grønn energi $h(p)$. De grønne produsentene oppnår en pris for den ordinære energien p og et tillegg for sertifikatene p_c for hver enhet grønn energi. Husk at forbrukeren bare betaler en andel α av den grønne energikost-

naden per enhet innkjøpt energi. Da får produsenten $1/\alpha$ slike verdier for en enhet grønn energi - altså p_c . Dette kan nå illustreres som at tilbyderer av grønn energi blir subsidiert i markedet, tilbudskurven skifter nedover til $h(p+p_c)$. Han vil tilby mer til en gitt pris p . Tilbudet må skifte så mye at det faktisk blir noe tilbud til den prisen markedet er villig til å betale.

Hvis vi nå aggregerer de to tilbudskurvene så får vi en ny total tilbudskurve $g(p) + h(p+p_c)$. Dette totale tilbudet skal nå tilfredstille den totale etterspørselen $f(p+\alpha p_c)$. Likevekten blir nå i punktet (x^{**}, p^*) der p^* er selgerprisen for ordinær energi. Hvis vi forlenger linjen i punktet x^{**} vertikalt så ser vi at det nå er uklart om kjøperprisen vil ligge over eller under p_0 , og om totalt energiforbruk øker eller minker. I Bye (2002) er det vist ved simuleringer at kjøperprisen ved små andeler kan ligge under den tidligere likevektsprisen i et helt ordinært marked, og dermed vil det totale volumet ligge over det tidligere volumet før reguleringen. I figuren ser vi at omsetningen av ordinær energi x^* blir lavere enn i markedet før innføringen av sertifikater. Omsetningen av grønn energi blir $x^{**}-x^*$.

Ved en sammenligning av grønne sertifikater og andre virkemidler, er det verdt å merke seg at enhver frikonkurranseløsning som realiseres ved hjelp av grønne sertifikater kan realiseres ved hjelp av en kombinasjon av produksjonssubsidier på grønne teknologier og avgifter på andre energikilder, der myndighetenes netto inntekter (dvs. avgiftsinntekter minus subsidieutgifter) er nøyaktig lik null. Dvs. bruk av grønne sertifikater er egentlig ikke annet enn en kombinasjon av avgifter og subsidier, men med en restriksjon på forholdet mellom disse. Basert på diskusjonen over har en slik restriksjon imidlertid ingen mening. Avgiften på andre energikilder bør i utgangspunktet reflektere deres negative miljøeksternalitet, mens subsidier på grønne energikilder bør reflektere deres positive eksternaliteter i form av spillovereffekter, samt imperfekt konkurranse. Ved bruk av grønne sertifikater reduserer man altså antall politikkinstrumenter fra to til en. Det er imidlertid slett ikke trivielt å finne de relevante avgiftene og subsidiene, bl.a. pga. mangelfull informasjon om bedriftenes kostnader.

Figur 6.2. Sertifikater og subsidier i det grønne markedet



De mulige problemene med å bruke sertifikater i stedet for avgifter og subsidier kan illustreres ved hjelp av et eksempel. F.eks. kan det hende at 1) kravet til andelen grønne sertifikater er for lavt i den forstand at energi fra den brune teknologien blir for billig fra et miljømessig synspunkt, samtidig som 2) kravet til grønne sertifikater er for stort i den forstand at de grønne teknologiene får et for sterkt incentiv til å utvikle seg. Dersom myndighetene i stedet for hadde brukt en kombinasjon av avgifter og subsidier, ville dette fremkommet ved at avgiftsinntektene fra de brune teknologiene ville vært høyere enn utgiftene til subsidien i den samfunnsøkonomiske optimale løsningen. For en nærmere diskusjon av problemer med definisjon av grønne teknologier se Bye, Olsen og Skytte (2002).

7. Sertifikater og læring

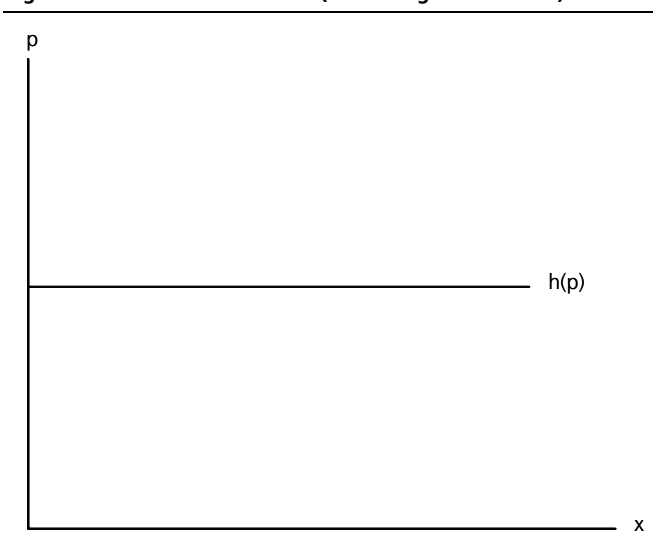
La oss anta at vi i utgangspunktet har en flat tilbudskurve for grønne teknologier som antydnet i figur 7.1. Dette vil typisk være tilfellet hvis vi har en grønn backstop-teknologi. Definisjonen på back-stop teknologi er nettopp at det finnes store mengder av den tilgitte kostnader. I dette tilfellet blir også gjennomsnittskostnaden konstant (den stiplede linjen i figur 7.2). Hvis vi har læringseffekter i dette tilfellet så vil grensekostnaden og dermed også gjennomsnittskostnaden falle med mengden energi produsert. Dette er den vanlige læringseffekten som er studert i litteraturen.

La oss nå anta at vi har en stigende tilbudskurve for grønne teknologier slik som i figur 7.3. Her har vi et tradisjonelt marked med tilbud av ordinær energi $g(p)$ og etterspørsel $f(p)$. Det grønne tilbudet $h(p)$ er så dyrt at det ikke kommer inn i markedet. Så innføres en sertifikatordning som medfører læringseffekter. Dette er illustrert i figur 7.4. La oss først anta at vi vurderer læringen som diskrete endringer i tilbudskurven og at vi ikke har perfekte forventninger om læringseffekten. Etter hvert som vi investerer i større volumer av grønne teknologier skifter tilbudskruven $h(p)$ utover til høyre.

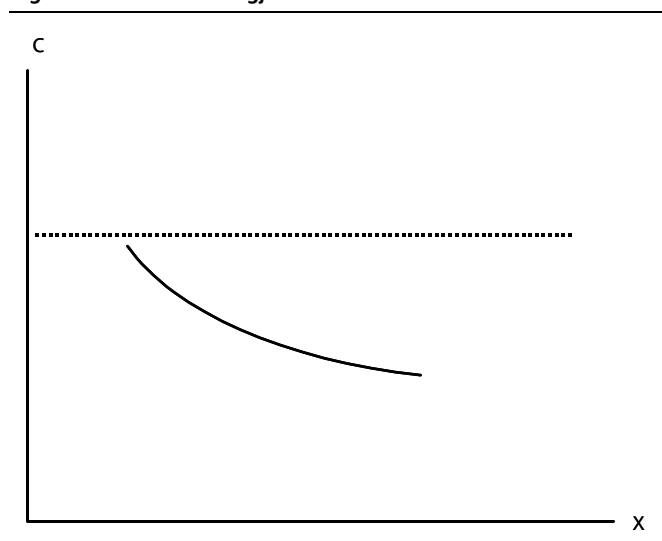
Til en gitt kostnad får vi stadig mer grønn energi. Læring er imidlertid en kontinuerlig prosess og det kan være rimelig å forutsette at vi har gode, om ikke perfekte, forventninger om denne effekten. Vurdert i dag vil da tilbudskurven inklusive læringseffekter fortone seg som dynamisk og lik den krummede linjen. Før vi investerer ser vi altså at om vi investerer, så vil vi få en grensekostnadskurve som ligger lavere enn den grensekostnadskurven vi har om vi ikke tar hensyn til læringen. Selv i dette tilfellet er imidlertid ikke læringseffekten, slik den er tegnet i den øverste krummede linjen i figur 7.4 sterk nok til at de grønne teknologiene kommer inn i markedet uten tilleggsstøtte.

I tilfellet med den øverste krummede linjen er lærings-effekten begrenset slik at de grønne teknologiene stadig trenger sertifikatmarkedet for å komme inn i markedet (grensekostnaden er over den tidligere prisen i markedet). Hvis læringseffekten er sterk nok kan tilbudskurven skifte nedover og deler av de grønne teknologiene kan greie seg uten sertifikatmarkedet, mens andre deler fortsatt må ha støtte av et slikt marked.

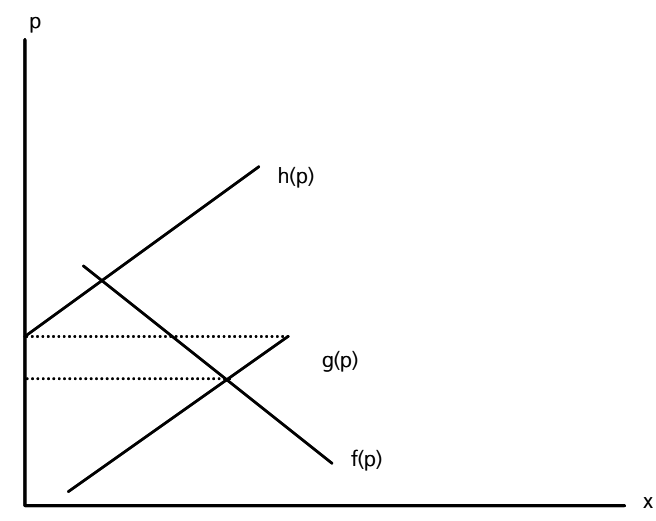
Figur 7.1. En flat tilbudskurve (konstant grensekostnad)



Figur 7.2. En fallende gjennomsnittskostnadskurve



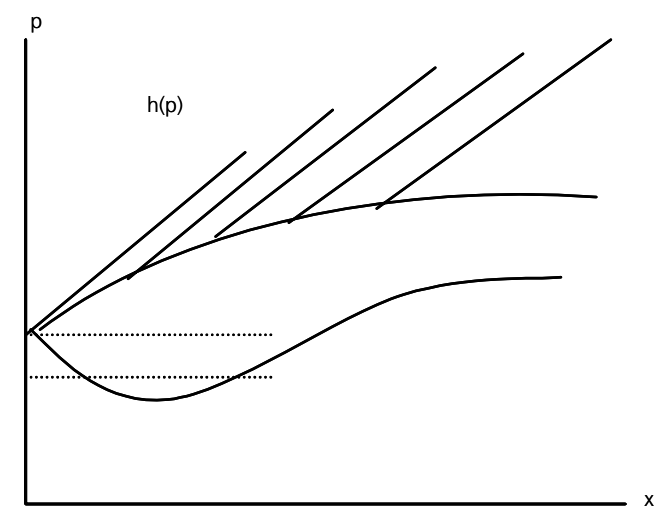
Figur 7.3. Stigende grensekostnader



Læringseffekten kan være så sterk at kostnadene faktisk faller i forhold til de billigste første prosjektene, for deretter å øke igjen, selv om de fortsatt er lavere enn før læringen fant sted. Som drøftet foran er det grunn til å anta at læringseffekten er størst i begynnelsen og blir mindre etter hvert. Skiftene blir mindre og mindre. I dette tilfellet blir teknologien så billig at det vil være lønnsomt å investere opp til et visst punkt selv i et ordinært energimarked når først læringen har funnet sted.

Vi ser nå at det fundamentale som skjer i et slikt marked er at tilbudselastisiteten for grønne teknologier i markedet øker i forhold til en situasjon uten slike læringseffekter. Dette betyr at de resultater som gjelder for sertifikatordningen for grønne energiteknologier og som er beskrevet i Bye (2002) fortsatt gjelder. De blir imidlertid modifisert i størrelsesorden på grunn av de større tilbudselastisitetene.

Figur 7.4. Læring og skift i tilbud



Grønne sertifikater er en form for "deployment" subsidie dvs. de fremmer bruk av bestemte teknologier, nærmere bestemt de som myndighetene har bestemt er grønne teknologier. Grønne sertifikater kan på den annen side ha liten effekt på FoU dersom det er store spillovereffekter i nettopp FoU. Sagt på en annen måte, grønne sertifikater lager et marked for bestemte energiteknologier, men skaper ikke noe økt incentiv for den enkelte bedrift til å investere i FoU dersom resultatene av FoU blir tilgjengelige for alle bedrifter i bransjen. På den annen side øker innføringen av grønne sertifikater omfanget av grønne teknologier og dermed øker også, i henhold til omtalen over, læringseffekten og kostnadene reduseres.

8. Styringseffektivitet og kostnader

Bye, Olsen og Skytte (2002), og Bye (2002) omtaler innføringen av sertifikatordninger i energimarkeder og dissers virkninger på tilpasningen i markedet. Analyser av andre aspekter ved sertifikatordninger i energimarkedet finnes i blant annet Jensen og Skytte (2002) og Amundsen og Mortensen (2002). De viser at effekten på priser og kvanta kan være ikke-intuitive og avhengig av omfanget av de sertifikatordninger som innføres.

Både i det grønne sertifikattilfellet, i tilfellet med ulike former for subsidier (pris eller volum) og i tilfellet med FoU-støtte må en på forhånd bestemme hvilke teknologier en anser for å være grønne. Som utgangspunkt vil vi anta at definisjonene av de grønne teknologiene er de samme i alle tilfellene.

Subsidier kan gis som produksjonsstøtte eller prisstøtte. Slike subsidier og FoU-støtte vil kunne virke helt forskjellig. Pris- og produksjonsstøtte vil medføre økte konkurransefordeler og dermed også økte volumer. I neste omgang kan dette medføre kostnadsreduksjoner som følge av profittmaksimerende atferd og lærings- og erfaringsprosesser, jf. kapitlene 2-3. FoU-støtte vil medføre økt fokus på teknologiutvikling og kostnadsreduksjoner direkte. Etter hvert vil det bli et samspill med økt produksjon og læringseffekter ellers. Pris og produksjonsstøtte kan også begrense handlingsrommet ved at det er de kjente teknologiene som støttes, mens en derimot gjennom støtte til FoU typisk kan støtte umodne/ukjente teknologier.

De forskjellige grønne teknologiene kan være på forskjellige teknologiske og effisiente nivåer. Da det grønne sertifikatmarkedet kun premierer de *mest* effektive teknologiene og de mest effektive plasseringer, vil det skje en lock-in av relativt effektive grønne teknologier og en lock-out av umodne grønne teknologier. Det er spesielt her at det grønne sertifikatmarkedet kommer til kort. Man kan risikere å hindre utviklingen av lovende teknologier med en høy læringsrate, som enda ikke er like effektive som de teknologier som er "in". Her har sertifikatmarkedet de samme svakheter som pris og produksjonsstøtte i forhold til FoU-støtte.

Man kan derfor være nødt til å sette igang parallelle støttetiltak, for å sikre en diversifisering av teknologiporteføljen og for å unngå lock-out av lovende teknologier. F.eks. kan man innføre teknologispesifikk FoU-støtte, investeringssubsidier, lisenser o.l., som kan løpe parallelt med det grønne sertifikatmarkedet. Dette skal imidlertid gjøres med nennsom hånd, da man ved for mye inngrep kan forstyrre prisdannelsen på det grønne sertifikatmarkedet og derved hindre at det virker som planlagt.

I tilfellet med grønne sertifikater bestemmes den andelen grønn energi som er ønskelig av myndighetene. Hvis målet er grønn andel, så vil markedet sørge for måloppnåelse. I tilfellet med tradisjonelle former for subsidier og FoU-støtte (til prosjekter) må en prøve seg fram med hvor stort omfang av støtte som må til for at en skal oppnå den bestemte grønne andelen. Sertifikatmarkedet kan derfor sies å være mer styringseffektivt hvis grønn andel er målet. Dette kan sammenlignes med forskjellene i styringseffektiviteten ved avgifter og kvoteordninger i CO₂ politikken. Hvis derimot målet er reduserte utslipp av forurensende stoffer og oppretting av markedsimperfeksjoner for grønne teknologier, så kan en kombinasjon av avgifter, subsidier og FoU-støtte være bedre, se for øvrig diskusjon omkring målsettinger i Bye et al (2002).

Både sertifikatordninger og subsidier representerer en støtteordning til grønne teknologier, som vil øke takten i markedspenetrering for denne typen teknologier. En slik støtte overfor disse energiformene vil medføre større volumer grønn energi enn en ellers ville fått. Hvis en nå legger teorien og empirien omtalt i kapittel 3 og 6 til grunn, vil dette medføre at tilbudskurven for de grønne teknologiene skifter til høyre etter hvert som mengden grønn energi øker. Hvis omfanget og innretningen av støtten (definisjonen av hva som er grønt) er sammenfallende bør subsidier og sertifikater lede til de samme læringseffektene.

Det er imidlertid noen fundamentale forskjeller på subsidier og sertifikatordninger som kan være avgjørende for omfanget av grønn energi, innretningen og dermed også læringseffekten. Subsidier blir vanligvis gitt etter søknad på enkeltprosjekter. Den som gir støtte har dermed ikke noen god informasjon om hva som er de beste prosjektene - det vil si hvor mye grønn energi en kunne ha fått for støtten i stedet for den grønne mengden som er lovt i forhold til prospektet for søknaden. En kan si at det offentlige har begrenset informasjon. Det kan også være imperfeksjoner i markedet som gir insitamenter til å overrapportere behovet for støtte for å få størst mulig subsidier og lønnsomhet i prosjektet. For eksempel kan første gangs tildeling danne en ramme for hvilke støttebeløp en kan påregne og dermed kan tildelingen bli uavhengig av de reelle kostnadene ved de enkelte prosjektene. I en sertifikatordning vil markedet selv bære kostnadene ved dårlige prosjekter og det vil være et sterkt insitament til kostnadseffektivisering.

En markedsbasert subsidieordning vil imidlertid kunne løse problemet med manglende kostnadseffektivitet. Myndighetene kan innføre en auksjonsordning av subsidier. I auksjonskonseptet bør høyest mulig grønn energiproduksjon pr. tildelt krone være et viktig kriterium. På denne måten vil markedet avsløre de marginale kostnadene. Ved imperfeksjoner i markedet, for eksempel ved at det kun finnes et fåtall mulige produsenter i det grønne markedet, vil imidlertid auksjoner kunne ha de samme svakhetene som direkte støtte da en nettopp ikke får produsentene til å avsløre grensekostnadene. De vet at ingen kan by under så lenge de har markedsmakt.

I subsidietilfellet vil energimarkedet bli tilført midler slik at energipris og dermed produsert og omsatt volum blir større enn i sertifikattilfellet. Ved sertifikater vil kostnaden bæres av markedet. Imidlertid vil det ved små andeler kunne være slik at eksisterende energiprodusenter belastes for ordningen, se Bye (2002), og konsumentene tjener på ordningen. I dette tilfellet ligner markedsresponsen på hva en vil få i subsidietilfellet. Igjen er det imidlertid slik at sertifikatordningen reduserer antall virkemidler fra to til ett i det tilfellet hvor det er to fenomener som skal løses og hvor det optimale da hadde vært to virkemidler. Optimalitet med hensyn på begge mål vil da være tilfeldig ved bruk av sertifikatinstrumentet.

Motsatsen til en subsidieordning er vanligvis en skatte- og eller avgiftsordning for å finansiere subsidiene. Dette skaper dels fordelingseffekter og dels dødvektstap i ordningen. Det produseres og/eller konsumeres mindre av de goder som må skattlegges. Skattefinansieringskostnader i norsk økonomi er blant annet behandlet i Holmøy (1997a-c). Kostnadsberegningssutvalget gir en oversikt over analyser av slike skattefinansieringskostnader, se NOU 1997:27 - ss 60-67. Verdien av de negative eksternalitetene som fjernes gjennom ordningen må trekkes fra.

I sertifikattilfellet forsøker en å internalisere de negative eksternalitetene i markedet, og markedet bærer selv den hele kostnaden ved ordningen. Hvis en lykkes med denne internaliseringen, som imidlertid krever en riktig kombinasjon av avgifter og subsidier (som er tilfeldig i sertifikattilfellet), da oppstår ikke de dødvektstap som en har i subsidietilfellet.

9. Oppsummering

Det er rimelig opplagt at en lærer av å utføre. Dette gjelder selvsagt også ved produksjon av energi fra nye kilder. Dette er filosofien bak etablering av såkalte læringskurver eller erfaringskurver i litteraturen. Hvordan læringen foregår er imidlertid ikke trivielt. Bak de fleste empiriske studiene av læringseffekter har en forsøkt å knytte en sammenheng mellom omfanget av produksjonen av nye teknologier og enhetskostnadene ved produksjonen. Mange studier viser at enhetskostnadene kan falle dramatisk etter hvert som produksjonen øker.

Hvorvidt dette er en generell læringseffekt som følge av erfaring ved produksjonen og bruken av teknologien, eller om det henger sammen med stordriftfordeler, generell forskning og utvikling, generelle tekniske gjennombrudd, eller markedsimperfeksjoner som for eksempel utnyttelse av markedsrett, er imidlertid uklart. Det er også usikkert om læring er av stor betydning nasjonalt eller om det er globale læringskurver som er de viktigste. Gjennom det sterke fokus som det er på læringseffekter i litteraturen skulle en imidlertid tro at det har noen sammenheng med stimuli, learning by doing og dermed læringseffekter.

Det framgår at det er vanskelig å skille mellom læringseffekter og effekter av FoU, ettersom disse ofte går hånd i hånd. Ensidig stimulans av produksjonen, f.eks. gjennom sertifikatordninger eller subsidier, vil gi økt erfaring og kan også indirekte medføre økt satsing på FoU for de mest effektive grønne teknologiene. Dermed kan man forvente læringsprosesser og kostnadsreduksjoner for disse teknologiene. For ukjente eller svært umodne teknologier vil imidlertid slik stimulans ikke ha noen effekt, og man kan risikere lock-out av lovende teknologier med mindre FoU-støtte også iverksettes.

Et sertifikatmarked kan sies å transformere to virkemidler til ett på en noe upresis måte. Et sertifikatmarked kan brytes opp i en skatt på den negative miljøeksternaliteten knyttet til ikke-grønne teknologier, og et subsidie på den positive eksternaliteten som følger av de grønne teknologiene. Både sertifikatmarkedet og subsidier medfører derfor en støtte til det grønne markedet som gir tilsvarende effekter på omfanget av grønne teknologier og dermed på læringen. I praksis vil imidlertid innretningen mot teknologiene og dermed også spillovereffektene kunne være forskjellige i de to ordningene. Det er imidlertid ikke mulig på generelt grunnlag å si noe om hvilket av disse som vil være mest styringseffektivt da det avgjørende vil være definisjonen av grønne teknologier i de to systemene, mulighetene for å utnytte markedsrett etc.

Referanser

- Arrow, K. (1962): The Economic Implications of Learning by Doing, *Review of Economic Studies* **29**, 155-173.
- Amundsen, E.S. og J.B. Mortensen (2001): The Danish Green Certificate System. Some simple analytical results. *Energy Economics* **23**, 489-509.
- Boston Consulting Group (1968): *Perspectives on experience*, Boston Consulting Group Inc.
- Bye, T., O. J. Olsen og K. Skytte (2002): *Grønne sertifikater - design og funksjon*. Rapporter 2002/11, Statistisk sentralbyrå.
- Bye, T. (2002): On the price and volume effects from green certificates, kommer som Discussion Papers, Statistisk sentralbyrå.
- Dutton, J. M. og A. Thomas (1984): Treating progress functions as a managerial opportunity, *Academy of Management Review* **9**, 235.
- Goldemberg, J. (1996): The Evolution of Ethanol cost in Brazil, *Energy Policy* **24**, 1127-1129.
- Grübler, A., N. Nakicenovic og D. G. Victor (1999): Dynamics of energy technologies and global change, *Energy Policy* **27**, 247-280.
- Gustavsson, P., P. Hansson og L. Lundberg (1999): Technology, resource endowments and international competitiveness, *European Economic Review* **43**, 1501-30.
- Hall, G. og S. Howell (1985): The experience curve from the economist's perspective, *Strategic Management Journal* **6**, 197.
- Harmon, C. (2000): Experience Curves of Photovoltaic technology, Interim Report 014 IIASA.
- Holmøy, E. (1997a): Samfunnsøkonomiske kostnader ved økt offentlig ressursbruk: Beregninger på en anvendt generell likevektmodell, *Norsk økonomisk tidskrift* **111**, 2, 207-240.
- Holmøy, E. og B. Strøm (1997b): *Samfunnsøkonomiske kostnader av offentlig ressursbruk og ulike finansieringsformer - beregninger basert på en disaggregert generell likevektmodell*. Rapporter 1997/16, Statistisk sentralbyrå.
- Holmøy, E. (1997c): Hva koster økt offentlig ressursbruk? Beregninger basert på en generell likevektmodell. *Økonomiske analyser* 9/1997, Statistisk sentralbyrå.
- IEA (2000): *Experience Curves for Energy Policy*, OECD/IEA.
- Jensen, S.G., J. Lemming, P.E. Morthorst, O.J. Olsen og K. Skytte (2002): Experience curves, renewable energy technologies and energy policy in Denmark, Paper presentert på den 25. årlige IAEE konferansen, 27.-29. juni 2002, Aberdeen.
- Jensen, S.G. og K. Skytte (2002): Interactions between the Power and Green Certificate Markets. *Energy Policy* **30**, No. 5, 425-435.
- Jespersen, S. (2002): Den erhvervspolitiske verdi af støtten til den danske vindmølleindustri. Arbejdspapir 2002:3, Det Økonomiske Råds Sekretariat.
- Joskow, P. og N. Rose (1985): The Effects of Technological Change, Experience, and Environmental Regulation on the Construction Cost of Coal-burning Generating Units, *Rand Journal of Economics* **16**(1), Spring 1985, 1-27.
- Neij, L. (1997): Use of experience curves to analyse the prospects for diffusion and adoption of renewable energy technology, *Energy Policy* **23**, 1099-1107.
- Neij, L. (1999): Cost dynamics of wind power, *Energy* **24**, 375-389.
- NOU 1997:27: *Nytte- kostnadsanalyser. Prinsipper for lønnsomhetsvurderinger i offentlig sektor*. Kapittel 7: Prosjektfinansiering og samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

Schrattenholzer, L. (2002): Analyzing the Case Studies from the Point of View of the R&D and Deployment Model. Environmentally Compatible Energy Strategies (ECS) Project. International Institute for Applied Systems, Laxenburg, Austria.
<http://www.iea.org/workshop/deploy/session2.pdf>.

Spence, A.M. (1984): The learning curve and competition, *The Bell Journal of Economics* **12**, 49-70.

Watanabe (1995): Identification of the role of renewable energy - A view from Japan's challenge: The new sunshine program, *Renewable Energy* **6**, 237.

Wörten, C.M. (2002): Experience curves for wind energy converters, Paper presentert på den 25. årlige IAEE konferansen, 27.-29. juni 2002, Aberdeen.

De sist utgitte publikasjonene i serien Rapporter

Recent publications in the series Reports

- 2002/1 E. Rønning og S. T. Vikan: Lærernes arbeidsmiljø i 1990-årene. 2002. 60s. 180 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5016-1
- 2002/2 V.V. Holst Bloch: Arealstatistikk for tettstedsnære områder 1999-2000. 2002. 37s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-5375021-8
- 2002/3 J. Lyngstad og A. Støttrup Andersen: Utvikling i boforhold 1987-1997. Rapport til Boligutvalget. 2002. 40s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5031-5
- 2002/4 E. Røed Larsen: Boligutgiftene i Norge på 1990-tallet. Systematiske observasjoner av livsfase, geografi og husholdningstype. 2002. 25s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5024-2
- 2002/5 L. Østby: Demografi, flytting og boligbehov på 1990-tallet. 2002. 48s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5029-3
- 2002/6 L.S. Stambøl: Qualification, mobility and performance in a sample of Norwegian regional labour markets. 2002. 46s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5033-1
- 2002/7 A. Finstad, G. Haakonsen og K. Rypdal: Utslipp til luft av dioksiner i Norge - Dokumentasjon av metode og resultater. 2002. 33s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5040-4
- 2002/8 A. Finstad, K. Flugsrud og K. Rypdal: Utslipp til luft fra norsk luftfart. 2002. 31s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5047-1
- 2002/9 A. K. Brændvang og K. Ø. Sørensen: Fylkesfordelt satellittregnskap for turisme. 2002. 40s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5049-8
- 2002/10 Use of ICT in Nordic enterprises 2000/2001. 2002. 25s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5050-1
- 2002/11 T. Bye, O. Jess Olsen og K. Skytte: Grønne sertifikater - design og funksjon. 38s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5052-8
- 2002/12 A. Støttrup Andersen: Yngre på boligmarkedet 1987-1997. 2002. 40s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5064-1
- 2002/13 A. Sundvoll og I. Kvalstad: SEDA - Sentrale data fra allmennlegetjenesten. Sluttrapport fra pilotprosjektet. 2002. 126s. 210 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5075-7
- 2002/14 M.I. Kirkeberg, B.A. Holth og A.E. Storrud: Pris, forbruk og inntekt. Økonomiske levekår på Svalbard sammenlignet med fastlandet i 1990 og 2000. 2002. 112s. 210 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5081-1
- 2002/15 A. Langørgen, R. Aaberge og Remy Åserud: Kostnadsbesparelser ved sammenslåing av kommuner. 2002. 74s. 180 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5088-9
- 2002/16 V.V. Holst Bloch: Brune arealer i tettsteder. En pilotundersøkelse. 2002. 32s. 155 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5097-8
- 2002/17 Ø. Kleven: Levekår i Longearbyen. En sammenligning mellom Svalbard og fastlandet. 2002. 70s. 180 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5106-0
- 2002/18 N.M. Stølen, T. Køber, D. Rønningen og I. Texmon: Arbeidsmarkedet for helse- og sosialpersonell fram mot år 2020. Modelldokumentasjon og beregninger med HELSEMOD. 2002. 75s. 180 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5110-9
- 2002/19 A. Snellingen Bye, G.I. Gundersen og S.E. Stave: Resultatkontroll jordbruk 2002. Jordbruk og miljø. 2002 180 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5117-6
- 2002/20 A.S. Andersen, E. Birkeland, J. Epland og M. Kirkeberg: Økonomi og levekår for ulike grupper trygdemottakere, 2001. 2002. 10 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5123-0
- 2002/21 I.Hauge. Byberg: Innvandrerkvinner i Norge. Demografi, utdanning, arbeid og inntekt. 2002. 118s. 210 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5126-5
- 2002/22 L. Østby: The Demographic Characteristics of immigrant Population in Norway. 2002. 58s. 180 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5128-1
- 2002/23 I.Hauge. Byberg: Immigrant women in Norway. 2002. 118s. 210 kr inkl. mva. ISBN 82-537-5131-1