

Rapport nr. 04/2014

En kostnadseffektiv og virkningsfull klimapolitikk

FRAMGANG STARTER VED AT NOEN GÅR FRAM

Jan Bråten



Forfatter: Jan Bråten

Redaksjonsslutt: 17. november 2014

Utgiver: Norsk Klimastiftelse

Innholdet i denne rapporten er også publisert i nettmagasinet Energi og Klima - energiogklima.no.

Norsk Klimastiftelse

NORWEGIAN CLIMATE FOUNDATION

Norsk Klimastiftelse ble opprettet i 2010. Stiftelsen arbeider for kutt i klimagassutslippene gjennom overgang til fornybar energi og andre lavutslippsløsninger. Stiftelsen er basert i Bergen og har støtte fra et bredt nettverk i næringsliv, akademia, organisasjoner og offentlige institusjoner. Stiftelsens styre ledes av Pål W. Lorentzen.

Norsk Klimastiftelse
Postboks 843 Sentrum,
5807 Bergen
www.klimastiftelsen.no

Norsk Klimastiftelse støttes av:

Kavlifondet
O. Kavli og Knut Kavils Allmenntilfide Fond

BKK

SparebankenVest
– satser på Vestlandet

umoe

EN KOSTNADSEFFEKTIV OG VIRKNINGSFULL KLIMAPOLITIKK

Framgang starter ved at noen går fram

En rapport om hvordan økt vekt på teknologiutvikling og samfunnsmessig læring vil gjøre global klimapolitikk billigere og mer virkningsfull, og om hvilke virkemidler vi trenger for å stimulere en slik utvikling

Jan Bråten

Forord

Denne rapporten beskriver hvordan vi kan fremme en kostnadseffektiv og virkningsfull klimapolitikk ved å tenke mer helhetlig og langsiktig om hvordan samfunn, politikk og teknologi utvikler seg.

Vi må se klimapolitikk som en *langsiktig lære- og ombyggingsprosess*, ikke som en serie av enkelttiltak i en statisk verden. Via brede læreprosesser kan tiltak og politikk som besluttes på ett tidspunkt påvirke den langsiktige utviklingen av teknologi og kostnader, institusjoner og holdninger.

Økonomer har i stor grad fått definere hva som er kostnadseffektiv klimapolitikk. Dessverre har en del økonomer gjort dette med forutsetninger som ikke holder i et globalt og langsiktig perspektiv. Og klimautfordringen er virkelig global og veldig langsiktig.

Som økonom finner jeg det tankevekkende at mye av det positive som har skjedd i klimaspørsmålet (for eksempel utviklingen av vindkraft og solpaneler) snarere har skjedd på tross av økonomers råd enn på grunn av. Teknologer, entusiaster og visjonære politikere har i stor grad drevet fram utviklingen. I den offentlige debatten har økonomer ofte fremstått som kritikere, gjerne med henvisning til at tiltak ikke er kostnadseffektive. I noen tilfeller kan en slik kritikk ha vært berettiget, men i mange tilfeller har kritikerne hatt et for snevert perspektiv. Økonomifaget kan gi viktige bidrag til en effektiv klimapolitikk, men må ta innover seg hvordan teknologi, politikk, samfunnsorganisering og holdninger utvikler seg over tid. Uten en slik forståelse har økonomiske analyser begrenset verdi.

Jeg ønsker at denne rapporten skal stimulere til en overordnet debatt om hva som kjennetegner en kostnadseffektiv og virkningsfull klimapolitikk. Det er ikke mitt mål å gi en detaljert oppskrift med konkrete tiltak. Mitt mål er å få fram behovet for mer helhetlig og langsiktig tenkning.

For å fremme en bred debatt på tvers av fag, har jeg forsøkt å si ting så enkelt som mulig, men ikke enklere. Jeg har brukt fotnoter til å gi relevant tilleggsinformasjon og utdypende forklaringer av økonomiske faguttrykk. De konkrete eksemplene i teksten brukes først og fremst for å belyse og underbygge de generelle poengene: Vurderinger av konkrete teknologiske muligheter vil endre seg over tid, men læreprosesser for å møte klimautfordringen vil være viktig hele tiden.

Som leser fortjener du å vite litt om min bakgrunn: Før jeg ble økonom, studerte jeg filosofi, sosiologi og matematikk ved Universitetet i Oslo, jobbet noen år som lærer i videregående skole og et par år som programmerer. I 1994 tok jeg embetseksamen i samfunnsøkonomi (cand. oecon). Min hovedoppgave var en spillteoretisk analyse av global klima- og energipolitikk. Samme år begynte jeg som konsulent i ECON Analyse hvor jeg etter noen år ble partner. Der jobbet jeg mest med energispørsmål, som ofte er relatert til klimautfordringen. Fra 2005 har jeg arbeidet i Statnett hvor jeg er sjeføkonom. Her har jeg jobbet med spørsmål knyttet til samfunnsøkonomisk effektivitet, fremtidens energisystem og hvordan man kan utvikle et robust og utslippsfritt energisystem. Jeg er medlem av styret for EnergiX, Norges Forskningsråds program for energiforskning. Innholdet i rapporten er uttrykk for mine personlige vurderinger.

Jeg takker følgende personer med bakgrunn fra økonomi, teknologi og andre relevante fag for diskusjoner og forslag som har gjort rapporten bedre: Christian Grorud, Berit Tennbakk, Per Ove Eikeland, Torjus Folsland Bolkesjø, Asbjørn Torvanger, Tore Snekkvik, Anne Jorun Aas, Ane Torvanger Brunvoll, Per Espen Stoknes, Elin Lerum Boasson, Martha Marie Øberg, Maria Sandsmark, Ove Wolfgang, Anders Bjartnes, Kitty Byng, Marius Holm, Anders Kringstad, Lene Elizabeth Hodge, Arild Skedsmo, Inge Stenkløv og Marianne Sjølund.

Noen vil si at dette er en lang rapport. I forhold til viktigheten av temaet og de mange spørsmålene som kunne vært drøftet, er den kort.

God lesing!

Oslo, 4. november 2014

Jan Bråten

Norsk Klimastiftelse

Norsk Klimastiftelse er veldig glad for å kunne bidra til diskusjonen om norsk og internasjonal klimapolitikk ved å publisere og distribuere denne rapporten. Jan Bråten har gjort et stort og viktig arbeid. Vi tror denne rapporten vil drive diskusjonen om klimapolitikk mange steg fremover.

Oslo, 4. november 2014

Anders Bjartnes

Daglig leder

Norsk Klimastiftelse

Rapporten kan lastes ned fra [Norsk Klimastiftelse](#).

Tekst og figurer kan fritt gjenbrukes mot å oppgi kilde.

INNHOLD

HOVEDBUDESKAP	4
SAMMENDRAG	5
1. INNLEDNING: KOSTNADSEFFEKTIVITET – VIKTIG OG VANSKELIG	11
2. KLIMAUTFORDRINGEN ER VARIG OG OMFATTER ALLE SEKTORER	16
TO EKSEMPLER PÅ UTFORDRINGENE	20
3. KARBONPRISING ER VIKTIG	21
3.1 KARBONPRISING STIMULERER OMSTILLING I ALLE LEDD	21
3.2 ANDRE EKSTERNE EFFEKTER MÅ OGSÅ TAS MED	22
4. ENERGIREVOLUSJONEN HAR STARTET	24
4.1 TEKNOLOGISATSING HAR GITT DRAMATISK KOSTNADSFALL	25
4.2 HELE ENERGISYSTEMET MÅ BYGGES OM	27
4.3 USIKKERHET SKAPER UTFORDRINGER	39
5. VI TRENGER BREDE LÆREPROSESSER	42
5.1 LÆREKURVER REFLEKTERER KUNNSKAPSUTVIKLING OG SKALAFORDELER	42
5.2 PIONERENE FÅR KUN LITT AV GEVINSTEN	46
5.3 ET ENORMT GEVINSTPOTENSIAL - LANGT FRAM I TID	48
5.4 HVORDAN KAN VI BEGRENSE UTVIKLINGSKOSTNADENE?	52
5.5 VIRKEMIDLER FOR LANGSIKTIG OMSTILLING OG LÆRING	54
5.6 SAMFUNNMESSIGE LÆREPROSESSER ER VIKTIGE	61
5.7 DYNAMISK OG GLOBAL KOSTNADSEFFEKTIVITET	74
6. BEGRENSET DELTAKELSE GIR UTFORDRINGER	76
6.1 EN BREDERE OG MER ROBUST KLIMASTRATEGI	76
6.2 KARBONLEKKASJE, KOSTNADSEFFEKTIVITET OG TEKNOLOGIUTVIKLING	81
7. OPPSUMMERING - KONKLUSJONER	84
VEDLEGG 1: MER OM KARBONPRISING	89
VEDLEGG 2: MANGE MULIGE LØSNINGER	91
V2.1 UTFORDRINGENE MED VARIABEL FORNYBAR KRAFT	91
V2.2 BIDRAG TIL JEVNERE UTSLIPPSFRI KRAFTPRODUKSJON	94
V2.3 NYE BIDRAG TIL FLEKSIBILITET	98
V2.4 BEHOV FOR IMPLEMENTERING OG UTVIKLING	101
REFERANSER	102

HOVEDBUDSKAP

I et globalt perspektiv er det kostnadseffektivt at noen land går foran og utvikler ny klimavennlig teknologi og bedre klimapolitiske løsninger. Andre land kan hente inspirasjon og lærdom fra pionerene, og dra nytte av kostnadsreduksjoner som de skaper. De som går foran gjør det lettere for andre å følge etter.

I år 2100 kan verdensøkonomien være åtte ganger større enn i dag. Samtidig må utslippene av klimagasser være nær null. I EUs veikart for 2050 har kraftsektoren nesten null utslipp allerede i 2050. Disse målene krever radikale grep. Teknologitvutvikling og økt kunnskap om egnet virkemiddelbruk og regulering er avgjørende for at vi skal lykkes.

Solpaneler har blitt 99 % billigere på 35 år. Det skyldes målrettet forskning og at en omfattende utbygging har stimulert innovasjon i hele verdikjeden og utløst betydelige stordriftsfordeler. En rekke andre teknologier, blant annet vindkraft, har også opplevd dramatiske kostnadsfall ved økt utbygging. For å nå klimamålene trenger vi mange slike suksesser.

En høy CO₂-pris (kvotepris eller avgift) er viktig for å stimulere utslippskutt, men har klare begrensninger. De som utvikler nye løsninger høster kun en begrenset del av gevinsten. Uten aktive grep utvikles det derfor for lite ny kunnskap. CO₂-prisen løser ikke dette problemet, siden den ikke favoriserer tiltak som stimulerer viktig teknologiutvikling. Vi trenger målrettede virkemidler for å få fart på utviklingen av nye løsninger.

Energisektoren står for 2/3 av globale utslipp. For å få utslippene i energisektoren ned mot null og samtidig sikre en robust forsyning, trenger vi mange nye teknologier, effektive reguleringer og velfungerende energimarkeder. Vi må integrere kraftsystemet med varme- og transportsektoren. Da kan energieffektivisering, utslippsfri kraft og bioenergi sammen sikre en robust og utslippsfri forsyning av energi til alle de tre sektorene.

Ved å etablere spleiselag mellom land, kan man styrke viljen til å utvikle nye løsninger. Slike allianser blir mer handlekraftige når deltakerne også har en nasjonal interesse av å utvikle de nye løsningene. Alliansene kan øke tempoet i læringen og få fram flere og bedre verktøy for å kutte utslippene. Det er nødvendig hvis vi skal nå klimamålene.

Vi må se på klimapolitikk som en langsiktig ombyggingsprosess og som en læreprosess hvor det vi gjør nå øker vår og andres evne til å kutte utslippene i fremtiden. Læringen handler både om teknologi, lover og reguleringer, og holdninger.

SAMMENDRAG

Klimaproblemet er gjennomgripende, og utslippene må ned mot null innen år 2100

Klimaproblemet krever tiltak i alle land og i nesten alle sektorer. For at vi skal ha en realistisk mulighet til å begrense global oppvarming til 2°C, må utslippene kuttes med i størrelsesorden 60 % fra 2014 til 2050, og mot slutten av dette århundret må utslippene av klimagasser være nær null. Samtidig forventes jordens befolkning å vokse med om lag 40 % fram til år 2100 og verdens produksjon av varer og tjenester kan bli *åttedoblet* (ved en årlig økonomisk vekst på 2,5 %). Dagens velstand bygger på bruk av fossil energi, som også er den viktigste kilden til global oppvarming. Fremtidens vekst og velstand må bygge på helt andre energiløsninger.

I EUs veikart for 2050 har kraftsektoren nær null utslipp i 2050. For å nå slike mål trengs det en radikal omlegging av energiproduksjon og energiforbruk. Det er også behov for endringer innen transport, i deler av landbruket og industrien, og i hvordan vi planlegger og bygger morgendagens samfunn. For å fremme slike endringer på en effektiv måte, trenger vi ny og bedre teknologi, nye måter å organisere institusjoner og sektorer på, og ikke minst nye tenkemåter.

Forurensere må betale – og de som utvikler bedre klimaløsninger må belønnes

Det er bred tilslutning til prinsippet at *forurenserne skal betale* for den kostnaden de påfører samfunnet. Dette fremheves ofte som *den kostnadseffektive løsningen*, og resonnetet er slik:

Ved å la alle forurensere betale en like høy avgift (eller kvotepris), oppnår man at utslippene kuttes der det er billigere enn å betale avgiften. Hvis avgiften for eksempel er €25 per tonn, vil alle utslippskutt som koster mindre enn €25 per tonn bli gjennomført. Dette er kostnadseffektivt, siden utslippene blir kuttet der det er billigst.

Klimaproblemet er et forurensningsproblem. Da er det nærliggende å konkludere at den kostnadseffektive løsningen er en like høy avgift eller kvotepris (heretter kalt karbonpris) for alle utslipp av klimagasser, og at man skal unngå andre virkemidler. Denne oppfatningen er feil. Karbonprising er viktig, men ikke tilstrekkelig til å fremme teknologiutvikling og annen kunnskapsutvikling i det nødvendige tempoet. I tillegg har karbonprising noen andre begrensninger.

En høy karbonpris gir forbrukere og næringsliv incentiver til å kutte utslipp når det er billigere enn å betale karbonprisen. Dessuten blir varer og tjenester som medfører høye utslipp dyrere. Høyere priser stimulerer kundene til å lete etter mer klimavennlige alternativer. Hvis markedene har tilstrekkelig tillit til at karbonprisen vil forbli høy i fremtiden, kan den også bli et viktig instrument for langsiktig omstilling. Men karbonprising *vil ikke* stimulere utvikling av ny teknologi

i et ønskelig (optimalt) omfang. Det skyldes at bedrifter og land som utvikler de nye løsningene, kun høster en mindre andel av gevinsten som løsningene gir.

Kunnskapsutviklere får kun en del av verdien

Patentbeskyttelse er en viktig drivkraft for innovasjon, ved at utviklerne får enerett til å tjene penger på løsninger de har utviklet i en begrenset periode (vanligvis i 20 år). Men selv om en løsning kan patenteres vil mye av verdien (nytten) tilfalle andre. Det er to grunner til dette:

- *I patentperioden* må patenteieren gi kjøperne en (betydelig) andel av gevinsten for å få dem til å kjøpe løsningen (konsumentoverskudd).
- *Etter patentperioden* kan alle fritt utnytte løsningen, uten å betale utvikleren. Siden klimaproblemet er veldig langsiktig, kan gode løsninger gi nytte i mange tiår etter at patentbeskyttelsen er utløpt. Når det tar lang tid å oppnå stor utbredelse for et produkt, kan det meste av den globale nytten komme etter at patentperioden er utløpt.

Mye kunnskap kan ikke patenteres. Dette gjelder uformell læring og mange generelle ideer. Det har også en verdi når noen oppdager at visse løsninger *ikke* fungerer. Andre kan lære av feilene, unngå dem og bli inspirert til å finne bedre løsninger. Kunnskap om muligheter og umuligheter gir dessuten verdifull informasjon til alle som planlegger langsiktige investeringer, selv om de ikke skal bruke løsningene selv.

Siden klimaproblemet er globalt og varig, og siden vi på lang sikt trenger radikale endringer som kutter utslippene mot null, vil teknologiutvikling og annen læring spille en avgjørende rolle for vår evne til å nå målene. Vi trenger en politikk og et sett av virkemidler som stimulerer den nødvendige kunnskapsutviklingen, og som får kostnadene ved nye løsninger langt ned.

Lærekurver: Utbygging senker kostnadene

Langsiktig, offentlig finansiert forskning og programmer som stimulerer innovasjon, er svært viktig for å utvikle nye løsninger, men er ofte ikke tilstrekkelig. For å få fart på utviklingen av ny teknologi og få kostnadene ned til et konkurransedyktig nivå, er det ofte nødvendig å stimulere en større utbygging/produksjon. *Lærekurver* beskriver kostnadsfallet som svært mange produkter opplever ved økende utbredelse. Kostnadsfallet stimuleres av to faktorer:

- *Læring ved utbygging og drift.* Utbygging av nye teknologier som for eksempel vindturbiner, gir praktiske erfaringer og stimulerer derved innovasjon. Næringslivet har høye avkastningskrav og liten lyst til å investere i innovasjon som *kanskje* finner et marked langt fram i tid. Men når myndighetene skaper et marked for et nytt produkt, slik man har gjort ved støtte til utbygging av vind og sol, er det lettere å få i gang innovasjon. Næringslivet er langt mer villig til å satse når veien fra idé til realisering er kort. *En stor utbygging stimulerer innovasjon i alle trinn i verdikjeden.*
- *Skalafordeler.* Når investorene har tilstrekkelig trygghet for fremtidig salg, er de villig til å investere i bedre og mer spesialtilpasset produksjonsutstyr. Større volumer gjør det mulig å utnytte produksjonsanleggene bedre. Et eksempel: Ved en stor utbygging av offshore vindkraft i et område som Nordsjøen, kan man investere i spesialbåter og kraner for montering av

turbiner, og man får bedre utnyttelse av båter og utstyr som driver vedlikehold. Når et produkt, for eksempel hydrogenbiler, lages i større serier kan utviklingskostnadene fordeles på flere enheter, og logistikken for leveranser av innsatsfaktorer og ferdig produkt kan bli mer effektiv. Når Tesla bygger sin gigantfabrikk for batterier, er det ventet at dette vil senke kostnadene med minst 30 %. *Fordelene ved større produksjon kan opptre i alle ledd i verdikjeden.*

Kostnadene ved solpaneler har falt 99 % på 35 år og kostnadene ved vindkraft på land har falt 90 % på 32 år. For LED-lys gikk kostnadene ned 85 % fra 2008 til 2012. I samme periode ble kostnadene for batterier til elbiler halvert, og det er godt håp om at økt produksjon og teknologiutvikling innen 2022 kan få kostnadene til å falle til en fjerdedel av nivået i 2012. Da blir elbiler billigere enn bensinbiler. Slike kostnadsfall har *avgjørende betydning for klimapolitikken* ved at de bidrar til at flere land vil gjøre mer for å redusere utslippene. I gunstige tilfeller hvor de klimavennlige løsningene blir billigere enn det gamle forurensende alternativet, og eventuelle institusjonelle barrierer fjernes, kan utslippsreduksjoner komme av seg selv etter hvert.

Karbonprising er ikke egnet til å fremme umodne teknologier

En karbonpris som er lik for alle utslipp skiller ikke mellom klimatiltak som kan gi et stort fremtidig kostnadsfall (ved læring og stordriftsfordeler), og klimatiltak som ikke gir en slik effekt. Siden det kan være snakk om veldig store kostnadsreduksjoner, er dette skillet viktig. *Når utbygging i dag bidrar til lavere kostnader i fremtiden, er dette en positiv effekt som vi må ta hensyn til når vi vurderer hva som er kostnadseffektivt.* For å stimulere læringseffekter og kostnadsfall ved storskala produksjon, trenger vi dedikert og forutsigbar støtte til utvikling og utbygging av nye løsninger – i et godt samspill med forskning.

Utbyggingen av solpaneler, og det tilhørende kostnadsfallet, kunne ikke blitt utløst av en karbonpris som skal gjelde for alle klimatiltak, eller av en generell støtte som er lik for all fornybar energi. I starten vil umodne teknologier ofte ha svært høye kostnader og kostnadene vil variere fra teknologi til teknologi. For å få i gang utbyggingen trenger man en støtte som er tilpasset kostnadsnivået for hver teknologi, og som kan justeres ned etter hvert som teknologien blir billigere. I dag koster offshore vindkraft rundt 1,2 – 1,4 kr per kWh. Hvis man vil utvikle denne teknologien, må utbyggere sikres inntekter på dette nivået.

Når målet er å utvikle spesifikke teknologier eller løsninger, er det mest effektivt å ha virkemidler som retter seg direkte mot dette målet. Virkemidlene må være forutsigbare og sikre nødvendig lønnsomhet for investorene.

Flere begrensninger ved karbonprising

En utfordring med karbonprising er at bedrifter med høye *avkastningskrav* vil legge liten vekt på karbonprisen langt fram i tid når de vurderer utslippsreduserende investeringer. Hvis det dessuten er stor *usikkerhet* om hva den fremtidige karbonprisen blir, vil investorene være enda mindre villig til å satse langsiktig på utslippsreduserende tiltak. Dette gjelder både ordinære investeringer og investeringer i Forskning og Utvikling (FoU). Også barrierer som begrenser lønnsom energieffektivisering må overvinnes med målrettede virkemidler.

En karbonpris som kun omfatter noen land, kan føre til at industri med store utslipp flytter til land uten en karbonpris. Dette kalles karbonlekkasje og kan i verste fall gi økte utslipp. Når det er behov for et produkt i fremtiden, bør man kombinere virkemidler slik at industrien ikke stimuleres til å flytte til land uten miljøkrav, *men i stedet stimuleres til å kutte utslipp der det er mulig, og til å utvikle mer klimavennlig produksjonsteknologi*. En mer klimavennlig teknologi kan senere bli viktig for å redusere utslipp i alle land.

Vi må utvikle et energisystem som er robust, utslippsfritt og ikke for dyrt

Energisektoren står for om lag 2/3 av de globale utslippene av klimagasser. Det er mulig å redusere utslippene i energisektoren betydelig fram mot 2050, men uten tiltak vil utslippene tvert om øke mye som følge av stor økonomisk vekst globalt. Det er derfor svært viktig å lykkes med radikale utslippsreduksjoner i energisektoren. Man må unngå bygging av kullkraftverk og annen infrastruktur som gir høye CO₂-utslipp i mange tiår, og det er viktig å komme i gang med utviklingen av løsninger som kan gjøre energisystemet helt utslippsfritt.

Elektrisitet blir en viktigere energibærer i fremtiden fordi vi bruker strøm til stadig flere tjenester, og fordi elektrisitet vil bli tatt i bruk på nye områder når utslippene av CO₂ skal ned i hele energisektoren. Det er lettere å få ned utslippene ved kraftproduksjon enn ved mange andre former for energibruk. Parallelt med at utslippene i kraftsektoren går ned, kan kraft i økende grad tas i bruk til transport og oppvarming. Varme- og transportsektoren kan bli kvitt sine CO₂-utslipp ved å bruke utslippsfri kraft og biobrensel.

Tradisjonelt har regulerbar fossil kraftproduksjon sørget for den nødvendige balansen mellom forbruk og produksjon. Nå skal fossil kraft gradvis erstattes av utslippsfri kraft som er mye vanskeligere å regulere, og som ofte varierer med været. Det vil komme timer hvor sol- og vindkraft nesten ikke produserer, og det vil komme perioder hvor sol og vind produserer mye mer kraft enn dagens forbruk kan utnytte. *Utfordringen er å utvikle et utslippsfritt kraftsystem som gir nok kraft i alle situasjoner. Helst skal man også utnytte de store overskuddene som vil komme i noen perioder.*

For å få utslippene ned til null og samtidig sikre forsyningen i alle situasjoner, må vi utvikle nye typer utslippsfri kraft som kan dekke forbruket når vind og sol bidrar lite. Vi vil trenge ny fleksibilitet i produksjon og forbruk, inkludert teknologier for lagring av energi. Det må bygges et sterkere overføringsnett mellom områder og land for å avhjelpe lokale ubalanser, det må utvikles fleksible varmeløsninger og intelligente styringssystemer. Hele samspillet må koordineres av egnede markedsløsninger og reguleringer som utnytter fordelene ved handel mellom land. *Dette er en ombyggings- og læreprosess hvor vi kjenner retningen, men hvor mange av løsningene må utvikles underveis.*

Energiforbruket i transportsektoren og til oppvarming er stort. Oppvarming (inkludert industriell bruk av varme) står for halve sluttforbruket av energi i Europa. Ved å ta i bruk mye mer elektrisitet i disse to sektorene bidrar man til utfasing av fossilt brensel, bedre utnyttelse av fornybar kraft og et mer robust energisystem.

Transport. Kjøretøy med elmotor kan drives med strøm fra batteri eller strøm produsert fra hydrogen i en brenselcelle. Hydrogen kan lages fra strøm. Lading av

batterier og produksjon av hydrogen kan i hovedsak skje i perioder hvor kraftsystemet har rikelig kapasitet. Både batterier i elbiler og hydrogenløsninger kan levere kraft tilbake til nettet hvis det er stor knapphet på kraft og høye priser. Ved stor utbredelse kan bidraget til fleksibilitet bli betydelig.

Varme. I varmesentraler (for eksempel fjernvarme) bruker mange land mye fossil energi. Denne kan erstattes med strøm i perioder med overskudd av fornybar kraft (lave priser) og med biobrensel i andre situasjoner. Varmepumper kan slås av i noen timer når man har stor knapphet på kraft (høye priser). Hvis man har et varmelager, kan fleksibiliteten økes.

Elektrifisering i transport- og varmesektoren er et eksempel på at vi må tenke nytt og se investeringer i de ulike sektorene i en større sammenheng.

Ulike løsninger og teknologier vil konkurrere om å bidra til en rimelig og sikker forsyning. Nyten av hver enkelte teknologi avhenger av hvilke andre løsninger som utvikles og hva de koster. Når energisystemet skal endres fundamentalt blir usikkerheten stor. For å begrense usikkerheten er det viktig at myndighetene fremmer forskning, utvikling og utbygging av nye fremtidsrettede løsninger, slik at man får et best mulig bilde av potensialet på ulike områder og et best mulig grunnlag for langsiktige investeringsbeslutninger.

Utslippene i kraftsektoren kan senkes mye ved å bytte ut kull med gass, og ved å bygge ut vind- og solkraft. Men man kommer ikke i mål med en slik strategi. For å komme i mål er man nødt til å utvikle løsningene som kan gjøre hele energisektoren utslippsfri. Siden det ofte tar flere tiår å utvikle nye løsninger og få ned kostnadene, er det viktig å satse tungt nå.

Samfunnmessige læreprosesser er viktig for en effektiv klimapolitikk

En kostnadseffektiv og virkningsfull klimapolitikk krever utvikling av lover og regler, institusjoner, markeder og holdninger. *Dette er læreprosesser som tar tid. Et eksempel på dette er dereguleringen av energi- og kraftmarkedene i Europa. England og Wales deregulerte kraftmarkedet allerede i 1989 og Norge gjorde det samme i 1990. Andre land fulgte etter utover på 90-tallet. Et velfungerende europeisk kraftmarked er viktig for effektiv ressursbruk og forsyningssikkerhet, og blir enda viktigere i fremtiden når mer variabel kraftproduksjon øker behovet for handel. Det har derfor i mange år vært et mål for EU å få på plass et effektivt felles marked for kraft i Europa, men fortsatt er man ikke helt i mål. Utvikling av egnede regler og egnet organisering er vanskelig og kan ta lang tid.*

Holdninger utvikles ofte i et samspill med endringer i lover, institusjoner og politikk. På forhånd kan befolkningen være skeptisk til reformer, selv om de samlet sett gir store gevinster. Et eksempel på dette er fraværet av rushtidsavgifter i de fleste storbyer. Verdien av redusert tidstap ved køer kan i seg selv gjøre slike avgifter svært lønnsomme for samfunnet. I tillegg får man bedre lokalmiljø, mindre utslipp av CO₂ og bedre mulighet til å bygge ut kollektivtrafikk på vei. Økonomer er stort sett enige om at rushtidsavgifter er en god løsning i storbyer, men likevel er det få byer som har innført slike avgifter. Ofte vil reformer få økt oppslutning etter at de er gjennomført. I Stockholm stemte for eksempel befolkningen ja til videreføring av en rushtidsavgift etter en prøveperiode.

Vellykkede reformer ett sted kan gjøre det lettere å få oppslutning om tilsvarende reformer andre steder. Det skyldes både at man kan lære av det andre har gjort, og dermed sikre et godt resultat, og at det er lettere å argumentere for en modell som har fungert godt i praksis. Suksess avler suksess. De som går foran bidrar til økt kostnads-effektivitet globalt.

Allianser av motiverte land kan gi teknologiutviklingen et løft

En del land kan ha en betydelig egeninteresse av å utvikle løsninger som også gir lavere CO₂-utslipp. For land med stor netto import av olje og gass kan utvikling av fornybar energi og energieffektivisering stimulere innenlandsk nærings- og teknologiutvikling, gi lavere importregning, øke sysselsettingen og redusere faren for forsyningsproblemer. I land med store forurensningsproblemer kan overgang til utslippsfri kraftproduksjon og elektrifisering av transport, gi betydelige miljøgevinster.

Når flere land har en sterk egeninteresse av å utvikle nye løsninger og dessuten har stor industriell og forskningsmessig kapasitet, kan man skape handlekraftige allianser. Sammen kan landene sørge for den ønskede teknologiutviklingen og industrialiseringen.

Ved å koordinere innsatsen og dele på utgiftene, kan landene bli motivert til å gjøre mer enn de ellers ville gjort for å utvikle nye klimaløsninger. Det gjør utslippsreduksjoner billigere.

Når kostnadene ved utslippskutt går ned, blir det lettere å få flere land med på ambisiøse utslippsreduksjoner.

INNLEDNING: KOSTNADSEFFEKTIVITET – VIKTIG OG VANSKELIG

Vi trenger et bredt og langsiktig perspektiv på klimapolitikken

Denne rapporten er skrevet for å vise at vi må tenke bredere og mer langsiktig om klimapolitiske virkemidler. Et bredere perspektiv åpner for å se flere muligheter og finne bedre løsninger. Rapportens viktigste budskap, er at vi må se klimapolitikk og klimatiltak som del av en global lære- og ombyggingsprosess. Denne læreprosessen omfatter både utvikling av teknologi, institusjonelle rammer, virkemidler og befolkningens holdninger til tiltak og virkemidler. Fra dag til dag endrer samfunnet seg lite, og kan virke statisk. Når vi i moderne samfunn ser 20 – 30 år tilbake i tid, oppdager vi imidlertid at både teknologi, organisasjonsformer og holdninger har endret seg vesentlig.

Alle er for kostnadseffektivitet

For å begrense global oppvarming til 2°C er det nødvendig med store endringer innen industri, transport og jordbruk og en total omlegging av energisektoren. Det er nødvendig at alle land etter hvert blir med på omleggingen. Vi trenger en gjennomtenkt strategi for å begrense kostnadene. Lave kostnader er viktig i seg selv, og gjør det dessuten lettere å få alle land med på omstillingen. Lave kostnader øker gjennomføringsevnen.

Kostnadseffektivitet handler om å unngå ressursløsning og unødvendig dyre løsninger. Det er vanskelig å være mot kostnadseffektivitet. Derfor veier det tungt i debatter når eksperter fremhever enkelte virkemidler eller løsninger som mer kostnadseffektive enn andre. Og siden analyser av kostnadseffektivitet er en del av økonomifaget, får vi økonomer i stor grad definisjonsmakten mht. hva som er kostnadseffektivt.

En kostnadseffektiv politikk bringer oss til målet med så lave samfunnsmessige kostnader som mulig. Kostnadseffektivitet er derfor definert for et angitt mål eller et sett av mål. Hvis målet defineres annerledes kan andre tiltak bli kostnadseffektive. En klar beskrivelse av målet er derfor viktig for å få en ryddig diskusjon om kostnadseffektivitet. Som du vil se i denne rapporten, kan

konklusjoner om kostnadseffektivitet bli helt feil dersom analysene bygger på for snevre eller gale forutsetninger.

I mange tilfeller preges diskusjonen om kostnadseffektiv klimapolitikk av at målet tolkes ganske snevert, som for eksempel at nasjonale utslipp skal under et gitt nivå innen et bestemt år. Er målet virkelig så snevert, eller skal man også ta hensyn til mer langsiktige virkninger og til hvordan tiltaket kan påvirke utslipp i andre land?

Siden klimautfordringen er global og svært langsiktig, bør man i utgangspunktet ha en bred og langsiktig tilnærming når man skal vurdere kostnadseffektiviteten ved klimatiltak og klimapolitikk. Det kan være hensiktsmessig å bruke betegnelsen *dynamisk og global kostnadseffektivitet* om analyser som har et globalt perspektiv og tar hensyn til at tiltak på lang sikt kan påvirke kostnads- og teknologiutviklingen og bidra til utvikling av annen nyttig kunnskap.

Hvis man anvender en snever tilnærming til kostnadseffektivitet, bør man bidra til en ryddig diskusjon ved å gjøre oppmerksom på hvilke forhold man ser bort fra.

Er økonomenes svar kun karbonprising?

Jeg bruker betegnelsen *karbonprising* og *karbonpris* som en fellesbetegnelse på en avgift eller en kvotepris knyttet til utslipp av CO₂ og andre klimagasser.¹

I den offentlige debatten om valg av virkemidler i klimapolitikken, for eksempel knyttet til EUs utslippsmål for 2030, kan man noen ganger få inntrykk av at samfunnsøkonomenes svar er *karbonprising og ingen ting annet*. Noen har nok også, dessverre, oppfattet økonomers budskap dit hen at man ikke bør gjøre særlig mye før det er etablert en global klimaavtale og en global karbonpris. Det er svært uheldig hvis noen har tolket budskapet slik, og latt det påvirke beslutninger om klimapolitikk. De løsningene som så langt er utviklet for å håndtere klimautfordringen, har vi i stor grad fått takket være land og mennesker som ikke ville vente.

Mange økonomer har etter min vurdering lagt *for mye* vekt på at karbonprising skal løse det alle meste, inkludert behovet for teknologiutvikling. Tilsvarende har man lagt for lite vekt på begrensninger og utfordringer ved karbonprising som virkemiddel. Dermed har man undervurdert behovet for å supplere med andre virkemidler. En for ensidig vektlegging av karbonprising kan føre til at viktige omstillings- og læreprosesser utsettes unødig. Dét kan både fordyre og forsinke klimapolitikken.

I økonomisk teori er en markedsimperfeksjon noe som fører til at markedet ikke gir en samfunnsøkonomisk effektiv ressursbruk.² Ut fra økonomisk teori er det *to*

¹ For andre klimagasser enn CO₂ omregner man oppvarmingseffekten som gassen har til en CO₂-ekvivalent. Hva som er mest riktig vektning av ulike klimagasser kan diskuteres, men er ikke tema her.

² En viktig form for markedsimperfeksjon er knyttet til såkalte eksterne effekter eller eksternaliteter. I økonomisk teori har vi eksterne effekter når en menneskelig aktivitet har virkninger på andre borgere og lands velferd samtidig som virkningen ikke blir tatt hensyn til i markedsprisene. Hvis en bedrift forurensrer og for eksempel skader innbyggernes helse, kalles dette en *negativ* eksternalitet. Hvis en aktivitet gir positive ringvirkninger som

viktige og overordnede markedsimperfeksjoner som må korrigeres for at vi skal få en kostnadseffektiv håndtering av klimaproblemet³:

Den mest omtalte og fundamentale markedsimperfeksjonen er at utslipp av klimagasser gir global oppvarming. Land, forbrukere og bedrifter betaler i de fleste tilfeller lite eller ingen ting for den skaden utslippene skaper, og har derfor ikke tilstrekkelige incentiver til å endre adferd. Hvis alle aktører må betale en høy karbonpris og forventer dette også i fremtiden, har man en sterk drivkraft for omstilling. Se mer om dette i kapittel 3.

Den andre markedsimperfeksjonen er knyttet til at kunnskap i stor grad er et kollektivt gode.⁴ Klimaproblemet blir mye lettere å håndtere hvis man utvikler ny og bedre teknologi og mer kunnskap om hvordan samfunn enklest og billigst kan kutte sine utslipp. Utfordringen er at de som utvikler denne kunnskapen kun høster en liten del av gevinsten. Dermed blir det utviklet *for lite kunnskap i forhold til det som er optimalt*. Dette gjelder også for land som finansierer utviklingen av en ny teknologi, mens hele verden etter hvert kan utnytte løsningene. Utfordringen med kunnskap som kollektivt gode blir ikke håndtert effektivt hvis vi kun bruker karbonprising som virkemiddel.

Med en langsommere og mer begrenset utvikling av klimateknologi og annen relevant kunnskap, blir klimapolitikken dyrere og vi får færre verktøy til å kutte utslipp. Dessuten blir det vanskeligere å få alle land med på utslippskutt. Siden kunnskaps- og teknologiutvikling ofte tar mange år, noen ganger flere tiår, betyr denne markedsimperfeksjonen relativt lite for utslippsreduksjoner på noen få års sikt, men den kan ha en helt avgjørende betydning på lang sikt. Og klimautfordringen er svært langsiktig.

bedriftene ikke får betalt for, har vi en *positiv* eksternalitet. I en markedsøkonomi fremmer man samfunnsøkonomisk effektivitet ved å la aktiviteter som skaper negative eksternaliteter betale for kostnadene (avgift lik marginal skade av utslipp) og ved å støtte aktiviteter som gir positive eksternaliteter. Dette får markedsaktørene til å ta med samfunnshensyn (eksternaliteter) i beslutningene.

³ I tillegg til de to *overordnede* markedsimperfeksjonene som jeg drøfter her, finnes det en rekke markedsimperfeksjoner knyttet til ulike markeder. For eksempel kan effektiv energibruk bli hindret av manglende informasjon eller at den som kan gjennomføre energieffektivisering i et bygg (i noen tilfeller) ikke er den som vil tjene på det. Noen markedsimperfeksjoner berøres i rapporten, men det har ikke vært et mål å gi en komplett oversikt over alle forhold som bør korrigeres i ulike delmarkeder. Behovet for korreksjon vil også variere noe fra land til land, avhengig av hvordan de relevante sektorene er organisert.

⁴ Et *rendyrket* kollektivt gode er kjennetegnet av to egenskaper: 1) Det at én forbruker anvender godet svekker ikke andre forbrukeres mulighet til å gjøre det samme. Økt bruk gir ikke økte kostnader. 2) Det er ikke mulig å stykke opp godet og selge det til hver enkelt forbruker. Hvis godet er tilgjengelig for en aktør er det også tilgjengelig for andre. Det er få produkter som er rendyrkede kollektive goder i enhver sammenheng, men en rekke produkter er i stor grad kollektive goder. Informasjon tilfredsstiller det første kriteriet, men noen typer informasjon tilfredsstiller ikke det andre kriteriet. Det er for eksempel mulig å patentere mange tekniske løsninger og en del annen informasjon kan også selges, for eksempel i eksklusive avtaler som hindrer videre distribusjon av informasjonen. Når patentperioder utløper blir kunnskapen som ligger i patentene rendyrkede kollektive goder. Siden klimautfordringen er svært langsiktig, kan bruk etter patentperioden være en betydelig del av nytten ved en oppfinnelse. En del av nytten vil også tilfalle andre i patentperioden (Se mer om dette i kapittel 4.2).

Synspunktene over er en anvendelse av tradisjonell økonomisk teori. En rekke økonomer har da også påpekt at vi trenger mer enn karbonprising. Dette gjelder bl.a. Stern-rapporten⁵ og flere rapporter fra IEA⁶ og OECD⁷. Likevel kan man fortsatt møte utsagn om at det mest kostnadseffektive vil være om EU kun hadde mål for utslipp av klimagasser og at man kun bør bruke kvotemarkedet som virkemiddel i klimapolitikken.

Den økonomiske krisen etter 2008 har gjort EUs kvotemarked nesten virkningsløst, og demonstrert at det er stor usikkerhet knyttet til fremtidige kvotepriser. Et kvotemarked som aktørene ikke har tilstrekkelig tillit til, og hvor prisene varierer mye over tid, kan gi en periodevis stopp eller nedbremsing av viktige omstillingsprosesser. Det vil fordyre og forsinke omstillingen til et lavutslipps-samfunn. Karbonprising kan og bør ha en viktig rolle for å stimulere kortsiktige utslippskutt og langsiktig omstilling. Men da må karbonprisen være mye høyere enn den er i Europa i dag, og markedet må ha tillit til at den forblir høy (og helst øker) i fremtiden.

Stiavhengighet – hvordan styre utviklingen i ønsket retning?

Stiavhengighet er en metafor for hvordan begivenheter eller tiltak på et tidspunkt kan få stor betydning for utviklingen som kommer etterpå. Når noen begynner å trække opp en sti og fjerner hindringer, blir det lettere for andre å følge etter. Det er enklere å gå der andre har gått før. *Denne metaforen illustrerer både utfordringer og muligheter i klimapolitikken.*

Tastaturet som brukes i dagens PC-er (qwerty) ble i sin tid skapt for å ta hensyn til de mekaniske begrensningene ved skrivemaskiner. Dette tastaturet har blitt så innarbeidet at det har fulgt med videre, selv om det ikke er optimalt med dagens teknologi. Stiavhengighet spiller en viktig rolle i mange deler av samfunnet. Som vi

⁵ [Stern-rapporten](#) fremhever bl.a. følgende momenter i Executive Summary: *“Policy to reduce emissions should be based on three essential elements: carbon pricing, technology policy, and removal of barriers to behavioural change.” “Policies are required to support the development of a range of low-carbon and high-efficiency technologies on an urgent timescale.”* I Del 1 av Stern-rapporten, kapittel 2.7, heter det: *“The second task of mitigation policy is to promote research, development and deployment. However, the inevitable absence of total credibility for GHG pricing policy decades into the future may inhibit investment in emission reduction, particularly the development of new technologies. Action on climate change requires urgency, and there are generally obstacles, due to inadequate property rights, preventing investors reaping the full return to new ideas. Specifically, there are spillovers in learning (another externality), associated with the development and adoption of new low-emission technologies that can affect how much emissions are reduced. Thus the economics of mitigating climate change involves understanding the processes of innovation.”*

⁶ I rapporten “Managing interactions between carbon pricing and existing energy policies”, OECD/IEA 2013, skriver [Christina Hood i Executive Summary](#): *“A carbon price is generally considered necessary for enabling least-cost emission reductions, and should be a cornerstone element of a climate-energy policy package. However, it alone is not usually sufficient. The costs to society as a whole of decarbonisation over the short and long term can be reduced by implementing a package of policies including energy efficiency, technology development and deployment, and support to overcome underlying infrastructure or financing barriers.”*

⁷ [OECD Environmental Outlook to 2050, Climate Change Chapter](#) fremhever bl.a følgende punkter under **Key messages**:

- ***“Foster innovation and support new clean technologies.”***...*“Perfecting these technologies will require a clear price on carbon, targeted government-funded R&D, and policies to reduce the financial risks of investing in new low-carbon technologies and to boost their deployment.”*
- ***“Complement carbon pricing with well-designed regulations. Carbon pricing and support for innovation may not be enough to ensure all energy-efficiency options are adopted or accessible...”***

skal se i kapittel 5 er både kostnader, forbrukernes preferanser, offentlige reguleringer og befolkningens holdning til ulike reguleringer i betydelig grad påvirket av hva man har gjort før.

- *Kostnader.* Når produksjonen av et nytt (umodent) produkt øker, går kostnadene ofte ned på grunn av teknologiutvikling og annen læring, og på grunn av stordriftsfordeler. Lavere kostnader gir økt salg som stimulerer ytterligere kostnadsfall.⁸
- *Preferanser.* Tilvenning fører ofte til at vi foretrekker visse løsninger fremfor andre. Mange italienere vil ha pasta hver dag fordi de er vant til det, mange eldre nordmenn vil ha poteter hver dag osv. Vi har ofte en motstand mot forandring, men kan i mange tilfeller like endringene når vi først har vennet oss til dem.
- *Institusjoner og politikk.* Holdninger til hva som er fornuftig organisering av samfunnet, og hva slags lover, regulering, skatter og avgifter vi aksepterer, er også preget av hva vi er vant til.

Mye økonomisk tenkning, og særlig enkle innføringer i økonomi, tar kostnader og preferanser for gitt, og antar at markedene selv finner fram til de samfunnsmessig optimale løsningene (med korreksjoner for eksterne effekter). Med stivhengighet er det ikke like opplagt at markedene finner fram til de beste løsningene. Markedene kan trenge en dytt for å komme inn i en ønsket utviklingsbane. Noen må begynne å trække opp en hensiktsmessig sti, slik at flere etter hvert følger etter av seg selv.

En elv følger terrenget, men i det lange løp vil den også forme terrenget. Naturlige begivenheter eller menneskelige inngrep kan lede elven i et annet spor, slik at den former terrenget på en ny måte. I økonomien skjer slike endringer mye raskere enn i samspillet mellom elv og landskap. Ved aktiv politikk kan vi gjøre mye for å styre den langsiktige utviklingen i en ønsket retning.

Denne rapporten har derfor et optimistisk budskap: Ved å tenke utover de mest snevre økonomiske modellene, og se på utviklingen av klimapolitikk som en langsiktig læreprosess, kan vi oppnå mer.

⁸ Økonomiske lærebøker beskriver vanligvis kostnader som *stiger* med økende produksjon (stigende tilbudskurve). På kort sikt vil man gjerne ha stigende kostnader fordi kapasiteten og teknologien er gitt og ulike anlegg har ulike kostnader. Ved økt produksjon må man ta i bruk dyrere anlegg. På lang sikt kan kostnadene stige når man er avhengig av begrensede naturressurser. Hvis oljeutvinningen skal økes og man må ta i bruk felt som er vanskeligere tilgjengelig vil kostnadene stige, forutsatt uendret teknologi. For mange industriprodukter har man imidlertid sett en dramatisk reduksjon i kostnader som følge av læring og fordelene med storskala (industriell) produksjon. Masseproduksjon er mye billigere enn skreddersøm.

KLIMAUTFORDRINGEN ER VARIG OG OMFATTER ALLE SEKTORER

Klimaproblemet berører nesten alle sektorer i alle land, og er en varig utfordring for menneskeheten. Mange klimagasser blir lenge i atmosfæren, for CO₂ er levetiden mer enn hundre år. Utslipp nå bidrar derfor til oppvarming i flere generasjoner fremover.

Samtidig vet vi ikke hvor stor oppvarming som følger av en gitt økning i klimagasser. IPCC anslår oppvarmingen som følge av en dobling av klimagasser i atmosfæren (klimasensitiviteten) til å ligge i intervallet 1,5 °C - 4,5 °C.⁹ Usikkerhet om hvor stor oppvarmingen blir og hvor alvorlige konsekvenser en gitt oppvarming vil gi, er sammen med den store tregheten i klimasystemet, et argument for høy klimainnsats nå. Når det tar lang tid å bremse og veien er ukjent, kjører man langsomt.

Det er viktig å starte nå med utvikling av løsninger som setter oss i stand til å gjennomføre dyptgripende utslippsreduksjoner senere. Dette gjelder spesielt utvikling av teknologi som trenger lang tid for å utvikles, og som kan bli avgjørende for å håndtere klimautfordringen. Ved å starte tidlig med utviklingen av løsninger

⁹ En viktig grunn til usikkerheten er samspillet mellom økt fordampning og skydannelse. Global oppvarming leder til økt fordampning. Dette gir mer vanddamp (H₂O) i atmosfæren siden varmere luft kan holde på mer vann. Økt fordampning gir også økt skydannelse og mer nedbør. Vann som gass (damp) i atmosfæren forsterker global oppvarming, mens lavereliggende skyer derimot demper oppvarmingen. Samspillet mellom disse effektene er usikkert. I tillegg er det en rekke andre tilbakekoblingsmekanismer som gir usikkerhet. Økt oppvarming gir for eksempel mindre snødekket areal på land og mindre isdekke på havet i arktiske strøk. Dette forsterker den globale oppvarmingen, siden snø og is reflekterer mer lys tilbake til verdensrommet enn åpent hav og bar mark (albedoeffekten). Global oppvarming leder også til økte utslipp av metan og CO₂ fra områder som har hatt permafrost, og fra havbunnen. Disse og andre selvforsterkende effekter bidrar til usikkerheten om hvor stor oppvarmingen faktisk vil bli.

På tross av stadig økende konsentrasjon av klimagasser i atmosfæren har global oppvarming tilsynelatende gått langsommere de siste 10-15 årene. Noen har tatt dette til inntekt for at klimasensitiviteten er lavere enn tidligere antatt. Det har imidlertid kommet flere forskningsrapporter som til sammen kan forklare langsommere målt oppvarming av atmosfæren ved jordens overflate. For det første er det påpekt at en betydelig oppvarming ved polene ikke fanges opp i de fleste statistikkene. Andre forklaringsfaktorer er at variasjon i solens aktivitet (solsykluser) for en periode har gitt mindre oppvarming og at vindforhold og havstrømmer har ført til at mer av varmen for en periode har blitt absorbert i havet. For en kort oversikt over temaet, se for eksempel artikkelen ["Global warming Who pressed the pause button?"](#) i The Economist. Her oppsummerer man de nye forskningsresultatene slik: *"The slowdown in rising temperatures over the past 15 years goes from being unexplained to overexplained"*.

for dype utslippskutt reduserer man kostnadene ved fremtidig klimapolitikk og man øker mulighetene til å gjennomføre en rask og omfattende reduksjon av utslipp. Særlig hvis klimaproblemet viser seg å være mer alvorlig enn man forventer i dag, er det viktig å ha utviklet verktøyene for å gjøre de nødvendige kuttene. I tillegg er det naturligvis viktig at vi kutter utslipp allerede i dag der det er mulig, og at vi unngår investeringer som binder oss til store utslipp i fremtiden.

På lang sikt må utslippene av klimagasser trolig reduseres med minst 90 % fra dagens nivå. Kanskje må utslippene helt ned til null eller endog bli "negative" mot slutten av dette århundret, hvis vi skal ha minst 50 % sannsynlighet for å holde temperaturøkningen under 2 °C.¹⁰ Det vil kreve radikale omstillinger i energisektoren og på en rekke andre områder.

I dag dekkes om lag 80 % av den globale energiforsyningen med fossilt brensel. Det aller meste av dette må etter hvert erstattes av utslippsfri energi eller løsninger hvor CO₂-utslippene blir fanget opp og lagret (Carbon Capture and Storage, CCS), for eksempel i gamle gassfelt. Energieffektivisering vil gi et viktig bidrag til å begrense utslippene, men selv med offensiv satsing på energieffektivisering ventes det samlede energiforbruket å øke i mange år fremover, bl.a. fordi mange fattige land i dag mangler energi til viktige velferdsgoder. Det *må* derfor utvikles omfattende alternativer. De fleste sektorer i samfunnet vil bli berørt av behovet for energiomlegging.

Endringer i bruk av landarealer, spesielt nedhugging av regnskog for å drive landbruk, gir betydelige utslipp av klimagasser, det samme gjør mange former for matproduksjon (bl.a. metan fra husdyr og våtmarksdyrking av ris) og uheldig håndtering av matavfall (metan). Mange industriprosesser gir også direkte utslipp av klimagasser, i tillegg til utslippene som er knyttet til energiforbruket. Dette gjelder for eksempel sement, aluminium, jern og stål.

Figur 2.1 viser hvordan utslippene må kuttes dramatisk samtidig som verdens befolkning vokser og den økonomiske aktiviteten vokser enda raskere. Figuren viser utviklingen relativt til nivået i 2014 (definert som 100).

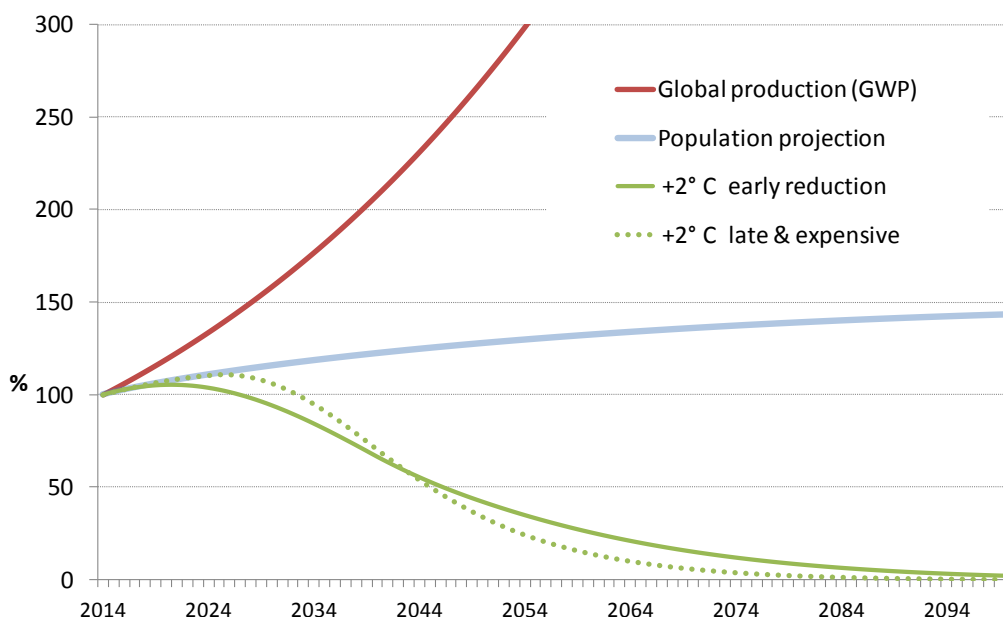
Verdens befolkning øker i figuren til 9,2 milliarder i 2050, og kommer opp i 10,3 milliarder i 2100.¹¹

Den globale økonomiske veksten starter i figuren med 3 % per år i 2014 og avtar gradvis slik at veksten er 2 % per år i 2100. Disse veksttallene er lavere enn historisk vekst og reflekterer antakelser om at den økonomiske veksten etter hvert vil avta noe. Med den antatte veksttaket blir global produksjon (GWP) i 2050 hele 2,7 ganger så stor som i dag, og i år 2100 blir produksjonen rundt *8 ganger så stor som nå*.

¹⁰ De fleste scenariene i siste IPCC rapport har større innslag av teknologier som gir negative utslipp i siste halvdel av dette hundreåret, spesielt karbonfangst og lagring (CCS) koblet til biomasse.

¹¹ Min illustrasjon av mulig befolkningsvekst ligger marginalt høyere enn FNs middelalternativ fra 2010. Se for eksempel [Wikipedia \(2014a\)](#). En fersk analyse basert på FNs befolkningsdata ([Yale Environment 360, 2014](#)) tyder på at befolkningsveksten i Afrika vil bli større enn tidligere antatt og at et midlere estimat for befolkningen i 2100 kan være rundt 11 milliarder, dvs. noe over den kurven jeg viser.

Både økonomisk vekst og økt folketall bidrar – alt annet likt – til høyere utslipp. Samtidig må de globale utslippene kuttes med om lag 60 % til 2050¹², og til et nivå nær null i år 2100. Det å kutte utslippene av klimagasser så mye samtidig som folketallet og velstanden vokser betydelig, er åpenbart en stor utfordring.



Figur 2.1 Mulige utviklingsbaner fra 2014 for verdens samlede produksjon, befolkning og utslipp av klimagasser som er forenlig med togradersmålet (2014 er 100 %)

I figuren avtar *veksten* i utslippene av klimagasser fra 2014. I den heltrukne utslippsbanen (+2 °C early reduction) når de årlige utslippene sitt maksimum i 2020, mens de i den stiplede banen (+2 °C late and expensive) når sitt maksimum i 2025. (Utslippsbanene er laget for å illustrere prinsippene.)

Ideelt sett burde utslippsreduksjonen startet tidligere, med gjennomføring av utslippskutt som koster lite, men dette er i mange tilfeller politisk krevende. Det er neppe realistisk å stoppe den globale veksten i utslipp før 2020.

Siden man i den stiplede banen kommer senere i gang med utslippsreduksjoner, må man gjennomføre mer omfattende og dyrere kutt på et senere tidspunkt. Banen med sen start av reduksjonen gir større risiko og kan bli mye mer kostbar dersom det viser seg at klimautfordringen er større enn antatt.

Utslippene i 2050 er her henholdsvis 42 % og 34 % av nivået i 2014. Reduksjonen må fortsette etter 2050, og mot slutten av århundret må de totale utslippene av klimagasser være svært lave. Utslippene av CO₂ må i praksis ned mot null, siden det er svært vanskelig å kutte utslipp av enkelte andre klimagasser.

Den gradvise reduksjonen i utslipp som er vist i figuren, reflekterer bl.a. at det tar tid å få ned utslippene fordi infrastruktur som bygninger, transportsystemer, kraftverk og fabrikker må byttes ut med anlegg som legger til rette for nullutslipp eller veldig lave utslipp. Det er billigst å gjøre en slik omlegging etter hvert som anleggene må

¹² IPCC har i 2014 angitt et intervall på 40 -70 % nødvendig kutt fra 2010 til 2050. Med en antatt vekst fra 2010 til 2014 på vel 2 % per år, blir 60 % kutt fra 2014 til 2050 nær midten av intervallet IPCC angir.

skiftes ut på grunn av alder, og det ville uansett vært umulig å skifte ut alt på en gang. For å få utslippene ned i et hensiktsmessig tempo, er det viktig at investeringsbeslutninger som påvirker utslipp langt frem i tid er forenlig med den fallende utslippsbanen. Man må unngå investeringer som binder utslipp til et høyt nivå i mange år. Bygging av nye kullkraftverk er ett eksempel på investeringer som kan vanskeliggjøre, forsinke og fordyre en senere reduksjon av utslipp.

Figur 2.1 viser klart at klimautfordringen ikke stopper i 2050. Det vil være nødvendig å kutte utslippene betydelig etter 2050. Dette skal skje i en verden hvor stadig flere mennesker får råd til et forbruk som krever energi og som kan gi store utslipp av klimagasser.

I teorien kan utslippene kuttes svært mye med dagens teknologi, men for å få bred oppslutning om radikale kutt i utslipp, vil det trolig være behov for store teknologiske fremskritt og i tillegg økende folkelig aksept for omstillinger på en del områder hvor man ikke finner gode, utslippsfri alternativer. Mange av de teknologiske løsningene som benyttes for å få ned utslippene i dag og de kommende årene, for eksempel solceller og vindturbiner, er utviklet de siste 30-40 årene. Disse teknologiene er fortsatt ikke ferdig perfektionert.

Det lange tidsperspektivet på klimautfordringen og behovet for svært omfattende kutt i utslipp gjør at teknologiutvikling og bred sosial læring kan og bør spille en viktig rolle i omstillingsprosessene. Nye løsninger som kan bidra til utslippskutt langt inn i fremtiden i en voksende verdensøkonomi, kan få enorm betydning for våre muligheter til å takle klimautfordringen.

Jeg kommer tilbake til dette i kapittel 5.

To eksempler på utfordringene

Sementindustrien står i dag for om lag 5 prosent av globale CO₂-utslipp. Halvparten av dette er knyttet til selve produksjonsprosessen for sement og det resterende er i hovedsak knyttet til bruk av fossilt brensel som energikilde. Hvis man erstatter den fossile energien med utslippsfri energi kan utslippene nesten halveres. Men hvis produksjonen vokser med 4 prosent i året (veksten vil først og fremst komme utenfor OECD-landene), vil produksjonen bli mer enn firedoblet fram til 2050. Da vil de totale utslippene fra sementproduksjonen være mer enn dobbelt så store som i dag, selv om energibruken i sektoren har blitt helt utslippsfri. Utslippene fra sementproduksjon vil da utgjøre om lag en fjerdedel av de totale utslippene vi kan tillate oss i 2050, gitt togradersmålet.

Det skjer en betydelig FoU-innsats for å utvikle sementtyper som gir mindre eller ingen utslipp fra produksjonsprosessen, og det er også aktuelt å ta i bruk fangst og lagring av CO₂ (CCS) i sementindustrien. I tillegg er det aktuelt å ta i bruk alternative byggematerialer for en del formål, for eksempel økt bruk av treverk i mindre bygg.

Flytrafikkens bidrag til global oppvarming forsterkes av at utslippene skjer i stor høyde. Virkningen av høydefaktoren er usikker, men kan være betydelig. I mitt regneeksempel antar jeg at flytrafikken i dag er ansvarlig for 3 % av globale utslipp av klimagasser. Det forventes en betydelig vekst i flytrafikken i årene framover. International Air Transport Association (IATA) forventer en årlig vekst på rundt 5 % per år fram til 2050. Det tilsvarer at trafikken i 2050 vil være nesten seks ganger så stor som i dag. Uten tekniske forbedringer vil flytrafikken i 2050 da stå for utslipp tilsvarende 17 % av utslippene i 2014. Tar vi utgangspunkt i et mål om 60 % kutt til 2050, vil flytrafikken med dagens teknologi, alene bruke opp 43 % av dette utslippsbudsjettet i 2050. Med et mål om stadig lavere globale utslipp etter 2050 og fortsatt 5 % årlig vekst i flytrafikken, vil utslippene overstige totalbudsjettet for utslipp en gang rundt 2060.

Heldigvis kommer det tekniske forbedringer. Energieffektiviteten har gjennom årene blitt betydelig forbedret, og nye fly som bestilles i dag bruker klart mindre drivstoff enn eldre fly. Det jobbes med å utvikle bedre fly med mindre energiforbruk og utslipp. Ved å ta i bruk biobrensel som er produsert på en bærekraftig måte, kan utslippene også senkes mye, men biodiesel fjerner ikke virkningen av at utslippene skjer i stor høyde. Og biobrensel kan bli en knapp ressurs når fossil energi også skal bort på en rekke andre områder. Ved en seksdobling av etterspørselen etter flytransport er det åpenbart behov for store teknologiske nyvinninger, trolig også tiltak for å begrense veksten. Det kan skje ved å utvikle gode transportalternativer for kortere strekninger, øke prisen eller redusere reisebehovet på andre måter. Teknologiforbedringer omfatter mer effektive motorer, bedre utforming av flykroppen, lettere materialer samt flyruter som gir mindre energiforbruk.

De to eksemplene er fra viktige sektorer hvor utslippene kan vokse betydelig. Uten gode teknologiske løsninger og virkemidler for å vri etterspørselen i riktig retning, kan utslippene fra disse to sektorene alene legge beslag på en stor andel av den utslippsmengden verden kan tillate seg i 2050.

KARBONPRISING ER VIKTIG

Karbonprising er viktig for å få til en bred omstilling av økonomien i klimavennlig retning. For å fylle en slik rolle må karbonprisen være tilstrekkelig høy og markedene må ha tillit til at den vil forbli høy – og gjerne stige – i fremtiden. I kapittel 3.1 forklarer jeg ideen bak karbonprising er hvorfor dette virkemiddelet er viktig. I kapittel 3.2 forklarer jeg hvorfor vi også må bruke andre virkemidler. Dette utdypes videre i kapittel 5 og 6.

3.1 Karbonprising stimulerer omstilling i alle ledd

De gode egenskapene ved karbonprising og miljøavgifter generelt forklares ofte slik: Når forurenserne må betale en avgift (eller en kvotepris) får de et incentiv til å avveie fellesskapets ønske om å begrense utslippene mot sine egne kostnader ved å redusere utslippene. Rasjonelle bedrifter og forbrukere vil kutte utslipp så langt det er lønnsomt, dvs. så lenge kostnadene ved å redusere utslippene er lavere enn kostnaden ved å betale avgiften. Når alle sektorer må betale avgiften, oppnår man en kostnadseffektiv reduksjon fordi utslippene kuttes der det er billigst, på tvers av virksomheter og sektorer. (Se Vedlegg 1 for utdypende forklaring.) Hvis avgiften er satt lik den skaden hver enhet av utslipp gir (det økonomer kaller marginal skade), vil utslippsreduksjonen dessuten skje i et optimalt omfang. I et kvotesystem oppnår man et tilsvarende resultat ved å sette summen av kvoter lik det akseptable nivået for utslipp. Kvoteprisen i markedet blir da tilstrekkelig høy til å begrense utslippene til det ønskede nivået.

Et viktig poeng er at en avgift (eller kvotepris) ikke bare påvirker utslippene direkte. Forutsatt effektive markeder og fravær av forstyrrende inngrep fra myndighetene, vil kostnadene ved utslipp bli overveltet i markedsprisene på produktene. Varer som er laget ved forurensende produksjon blir dermed dyrere og prisøkningen vil reflektere utslippene som ligger bak produksjonen av varen. Dette gir forbrukere og bedrifter på ulike trinn i verdikjeden et incentiv til å skifte til mindre forurensende innsatsfaktorer og varer.

Karbonprising gir altså både incentiver til å redusere små og store utslipp der de skjer, og til å bytte til produkter som er mindre forurensende. Begge deler vil være viktig for å oppnå en effektiv klimapolitikk, siden utslipp av klimagasser berører de fleste sektorer, og en mengde innsatsfaktorer og produkter. Noen ganger er direkte utslippsreduksjoner i produksjonsprosessen billigst, andre ganger kan det være bedre at man erstatter produkter som medfører høye utslipp med et mindre

forurensende alternativ. Prisingen av utslipp får markedene til å ta disse valgene på en kostnadseffektiv måte, forutsatt at andre samfunnsmessige kostnader og nyttevirkninger også er reflektert i priser og avgifter.

Det at utslippskostnadene knyttet til produksjonen av en vare blir reflektert i prisen, betyr at man ikke behøver å bekymre seg så mye for om kjøperen av varen skal betale for utslippene eller om industrien som slipper ut CO₂ når varen produseres skal betale. Begge parter får incentiv til å gjøre noe med problemet, og til slutt er det kjøperne som må betale for varens endelige bidrag til utslipp av klimagasser.¹³

Fremstillingen over beskriver kjernen i samfunnsøkonomisk teori for hvordan man bør håndtere såkalte eksternaliteter. Dette har vært økonomers standard løsning for håndtering av miljøproblemer. Denne teorien undervises for økonomistuderende, den er elegant og lett å forstå. Det er derfor ikke så underlig at noen insisterer på at karbonprising – og det alene – er det ideelle virkemidlet for å løse klimaproblemet på en kostnadseffektiv måte. Men som vi skal se nedenfor og i de neste kapitlene, er saken mer komplisert.

3.2 Andre eksterne effekter må også tas med

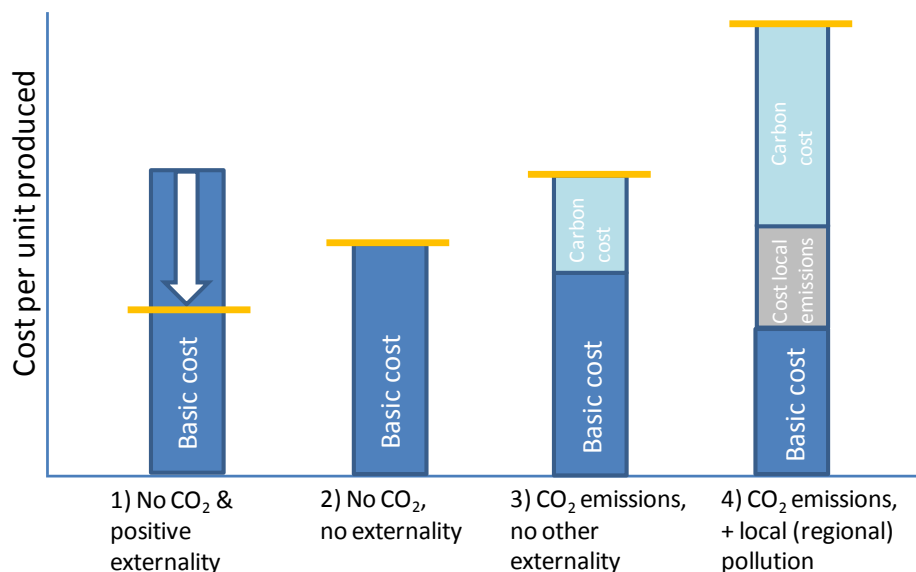
Når vi skal vurdere kostnaden ved et klimatiltak må vi korrigere de bedriftsøkonomiske kostnadene for *alle* markedsimperfeksjoner. Helseskadelige utslipp fra kullkraft skal for eksempel belastes kullkraften. En ny studie fra MIT har funnet at helsegevinster ved en del aktuelle klimatiltak i USA i betydelig grad oppveier kostnadene.¹⁴ I lys av dette blir klimatiltakene billige og i noen tilfeller lønnsomme også når man ser bort fra klimagevinsten. Imperfeksjoner i markeder og manglende prising av andre eksternaliteter, gjør at man i en del tilfeller kan identifisere klimatiltak som har ”negative kostnader”, dvs. tiltak som er samfunnsøkonomisk lønnsomme uavhengig av klimautfordringen.

Klimatiltak kan også bidra til læring og teknologiutvikling, slik at senere klimatiltak blir billigere eller slik at man oppnår andre fordeler i fremtiden. Støtten til utviklingen av solceller kan for eksempel i et globalt og langsiktig perspektiv være lønnsom selv når man ser bort fra behovet for å bremse global oppvarming. Når innsats nå gir lavere kostnader ved fremtidige tiltak og de som gjennomfører tiltakene kun høster en del av gevinsten, kan man se på dette som en *positiv eksternalitet*. For å få markedene til å tilpasse seg på en samfunnsøkonomisk effektiv måte må man *subsidiere* aktiviteter som har positive eksternaliteter.

I figur 3.1 nedenfor har jeg illustrert hvordan man kan sammenlikne de samfunnsøkonomiske kostnadene ved ulike tiltak ved å ta hensyn til positive og negative eksterne effekter.

¹³ I praksis fungerer ikke markeder perfekt, og myndigheter i ulike land gjør noen ganger inngrep som begrenser kostnadsoverveltning (jamfør for eksempel betydelige subsidier til fossil energi i en del land). Overveltningen av utslippskostnader i prisen kan derfor være mindre perfekt enn beskrevet her. Likevel er det rimelig å anta at denne effekten vil være et viktig bidrag til omstilling.

¹⁴ [Se Health benefits offset costs of climate policies \(Peterka, 2014\)](#), og [Capturing the Multiple benefits of energy efficiency \(IEA, 2013\)](#)



Figur 3.1 Privatøkonomiske kostnader (Basic cost) korrigert for positive og negative eksterne effekter

De mørkeblå søylene merket *Basic cost* viser ordinære bedriftsøkonomiske kostnader. Ved å korrigere for ulike positive og negative eksterne effekter kommer vi fram til samfunnsøkonomisk kostnad som representeres ved de gule linjene i figuren. Før korreksjonene er 4) (til høyre) billigst, dernest 3), så 2), mens 1) er dyrest.

Med korreksjonene blir 1) billigst fordi det her finnes et betydelig positiv eksterne effekt (læring som gir fremtidige kostnadsreduksjoner). Den positive eksterne effekten er vist med en hvit pil nedover. Når vi tar med kostnaden for CO₂-utslipp er 3) dyrere enn 2). Og endelig er 4) dyrest fordi denne løsningen både gir store CO₂-utslipp og betydelige miljølemper på andre områder.

Figuren kan for eksempel illustrere ulike teknologier for kraftproduksjon. 1) vil være en teknologi hvor det å bygge ut mer bidrar til et fremtidig kostnadsfall. 2) vil være en moden utslippsfri teknologi hvor man kan se bort fra slike læremuligheter. 3) kan være gasskraft (CCGT) som har relativt små lokale og regionale miljølemper sammenliknet med kullkraft. 4) kan være et kullkraftverk som både gir betydelige skader på miljø og helse og dessuten mye større CO₂-utslipp per kWh enn et gasskraftverk.

Det er en utfordring å anslå størrelsen på ulike positive og negative eksternaliteter, men det betyr ikke at man kan se bort fra dem.

Verdien av at fremtidige kostnader går ned tilfaller ikke utelukkende det landet som bygger anleggene. Dersom man kun ser på den verdien som tilfaller eget land, vil man legge mindre vekt på den fremtidige kostnadsreduksjonen (jamfør positiv eksternalitet i venstre søyle i figur 3.1, pil nedover). Man kan da komme til en annen konklusjon om hva som er mest kostnadseffektivt.

ENERGIREVOLUSJONEN HAR STARTET

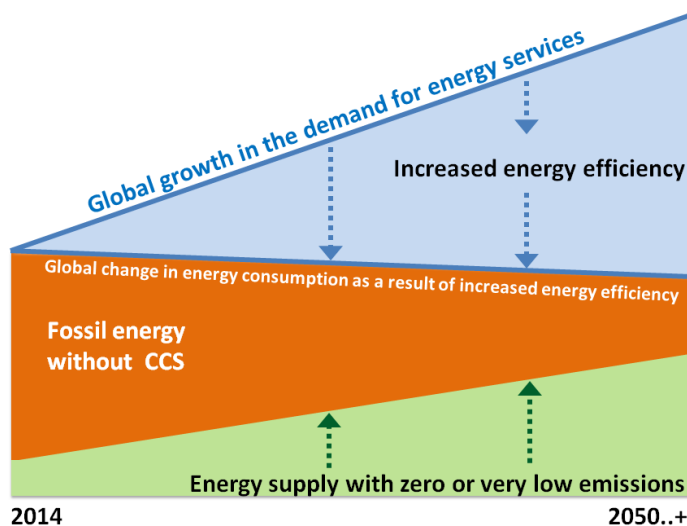
Energi politikk og klimapolitikk henger tett sammen. Energisektoren står for om lag 2/3 av de globale utslippene av klimagasser. Mye av veksten i utslipp de siste årene har vært knyttet til energibruk. Særlig har energirelaterte utslipp *utenfor* OECD vokst raskt, fra 45 % av totale energirelaterte utslipp i 2000 til 60 % i 2012 (IEA, 2012). Denne veksten skyldes at energiforbruk er nært knyttet til økonomisk vekst, spesielt i utviklingsland. *Uten omfattende tiltak vil vekst i energietterspørselen gi en stor økning i globale CO₂-utslipp.*

Det er enklere å få ned utslippene i energisektoren enn på en del andre områder, som noen typer landbruk, enkelte industriprosesser og luftfart. Det å snu veksten i utslippene i energisektoren til en reduksjon, er derfor en sentral del av klimapolitikken. To hovedtyper av tiltak må til for å klare dette:

- Vi må begrense energiforbruket ved hjelp av energieffektivisering og priser som reflekterer fulle kostnader ved energibruken.
- Vi må erstatte fossile energikilder med utslippsfri energi.

Figur 4.1 illustrerer de to hovedtypene av tiltak. Fornybar energi vil spille en helt sentral rolle for å levere utslippsfri energi. Men også kjernekraft og fossil kraft med fangst og lagring av CO₂ (CCS) kan bli viktig, særlig i områder med begrenset tilgang til fornybare energikilder.

Overgang fra kull til gass i kraftsektoren kan gi viktige bidrag til reduserte utslipp i de første 30 årene. Det skyldes at gasskraft har omtrent halvparten så store utslipp som kullkraft og dessuten at gasskraft er



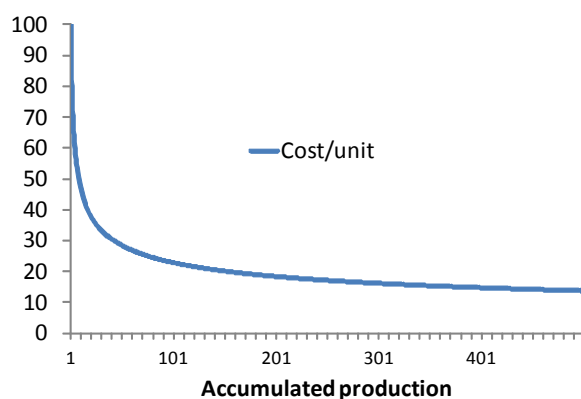
Figur 4.1 Illustrasjon av utfordringer og muligheter: Økt energieffektivitet begrenser forbruket og utslippsfri energi erstatter fossil energi (uten CCS)

lettere å regulere opp og ned i tråd med skiftende behov når forbruk og uregulert fornybar kraftproduksjon varierer. På lang sikt må imidlertid utslippene så langt ned at heller ikke gasskraft kan brukes i særlig utstrekning uten karbonfangst og lagring (jmfør kapittel 2 og figur 2.1).

FoU og politikk for å ta i bruk nye energiløsninger i stor skala har gitt dramatiske kostnadsreduksjoner. Dette er et resultat av satsing i noen få land og gir en indikasjon på hvilken viktig rolle en god, ambisiøs og langsiktig teknologipolitikk kan spille. I kapittel 4.1 skal vi se på kostnadsfallet som har skjedd fram til nå for solceller, vindkraft, batterier til elbiler og LED-lys. I kapittel 4.2 forklarer jeg hvorfor det er viktig å videreføre satsingen for å få kostnadene ytterligere ned og for å utvikle flere løsninger. Vi trenger et bredt sett av teknologier for å bygge et bærekraftig globalt *energisystem*, og kostnadene bør helst være så lave at alle land vil foretrekke de bærekraftige løsningene.

4.1 Teknologisatsing har gitt dramatisk kostnadsfall

Det er en vanlig observasjon at kostnaden ved en ny teknologi faller betydelig når produksjonsvolumene stiger. Denne typen kostnadsfall beskrives ofte i såkalte *lærekurver*. Den tilhørende *læringsraten* defineres som prosentvis nedgang i enhetskostnadene ved en dobling av akkumulert produksjon. I figur 4.2 viser jeg kostnadsfallet i et stilisert tilfelle hvor læringsraten er 20 % og den første produserte enheten koster 100.



Figur 4.2 Kostnadsfall ved 20 % læringsrate

En rapport med tittelen [Revolution Now, U.S. Department of Energy](#) (2013), oppsummerer kostnadsfallet for fire utvalgte teknologier: landbasert vindkraft, solcellepaneler (PV), LED-lys og større batterier for elektriske kjøretøy (EV). Her er noen hovedpunkter fra rapporten:

- På 35 år fram til 2012 falt kostnadene for takpaneler med solceller med 99 %, altså til 1 % av kostnaden 35 år tidligere. Her refererer man til Mints (2012). Man anslår at læringsraten for produksjon av solceller har vært om lag 20 %. Fra 2008 til 2012 falt prisene fra \$3,40/watt til \$0,80/watt (76 %). En del av dette skyldes overproduksjon og prispress, men mye forklares også med teknologisk fremgang og fordeler med større produksjonsskala. Når selve panelet (solcellene) blir billigere, utgjør andre kostnader, som tilpasning, montering og tillatelser en relativt større andel av kostnadene. Rapporten viser til at disse kostnadene i USA er om lag fem ganger så høye som i Tyskland. En del av forklaringen er at mye større omsetning i Tyskland bl.a. har fått ned kostnadene ved montering. Rapporten ser svært optimistisk på fremtiden for solpaneler: *”Current trends indicate that solar energy has a very bright future.”*

- For vindkraft på land har kostnadene blitt redusert med om lag 90 % fra 1980 til 2012. Kostnadene steg fra 2001 til 2009 på grunn av økte materialkostnader (råvarepriser) og utbygging på steder med mindre gunstige vindforhold, men etter 2009 har kostnadene igjen falt betydelig. Kostnadsfallet for vindkraft er bl.a. knyttet til økning i turbinstørrelse, men også en rekke andre faktorer spiller inn.
- I mer enn ti år har det amerikanske energidepartementet støttet forskning for å forbedre LED-teknologien og departementet har også gjort betydelige investeringer på produksjonssiden for å få ned kostnadene. Samtidig har lyskvaliteten blitt vesentlig forbedret. På fire år, fra 2008 til 2012, falt kostnadene for LED-lys med 85 %. (EUs forbud mot glødelamper har også bidratt til et mye større marked for LED og har dermed stimulert innovasjon og skalagevinster, men Revolution Now fokuserer på virkemiddelbruk og utvikling i USA.) Dagens LED-pærer sparer 85 % av energien sammenliknet med en konvensjonell lyspære. En artikkel på nettstedet [Reneweconomy \(Wright, 2014\)](#) omtaler forskningsresultater som tilsier at elforbruket i LED kan kuttes til 1/3 av dagens nivå for LED, dvs. til en samlet energibesparelser på 95 %.
- Kostnaden for batterier til elbiler har falt med mer enn 50 % fra 2008 til 2012, til et nivå under \$500 per kWh lagringskapasitet. Man ser for seg muligheter for betydelige videre kostnadsfall: *”Some private sector analysts have said that there is a relatively clear technology path to \$200/kWh for battery storage by 2020. The Department is working with industry, academia and our own labs towards an even more aggressive goal of \$125/kWh by 2022. At that point, ownership costs for a 280-mile EV will be equal to a standard vehicle.”* (280 mile tilsvarer 450 km.)

Svært mange nye teknologier, både i og utenfor energisektoren, har opplevd et stort fall i kostnadene etter hvert som de har blitt mer utbredt.

Flytende offshore vindkraft er en teknologi som er svært tidlig i lærekurven. Etter at Statoil i noen år har testet én pilotturbin (Hywind) på 2,3 MW utenfor norskekysten, skal man nå bygge fem turbiner, [hver på 6 MW, utenfor Skottland. Se Garus \(2013\)](#). Ved denne oppskaleringen forventer Statoil at kostnadene per MW installert kapasitet vil falle til 1/3 av kostnadene for piloten. Likevel er det nødvendig med et betydelig ytterligere kostnadsfall for at teknologien skal bli konkurransedyktig.

U.S. Department of Energy:

- **Solpanel: 99 % prisfall på 35 år**
- **Onshore vindkraft: 90 % på 32 år**
- **LED-lys: 85 % prisfall på 4 år**
- **Batterier elbil: > 50 % prisfall på 4 år**

Kostnadsstigningen for vindkraft fra 2001 til 2009 illustrerer at kostnadene kan stige selv om teknologien blir bedre. Det kan skyldes prisøkning på innsatsfaktorer eller at de beste områdene er tatt i bruk allerede. Man kan også oppdage problemer ved kvalitet og holdbarhet, og dermed *erkjenne* at de reelle kostnadene er høyere enn man først trodde. Det siste poenget illustrerer at for teknologier med store investeringskostnader, lave driftskostnader og lang levetid, kan det ta mange år før man har et klart bilde av kostnadsnivået. Vindturbiner er gjerne designet for å leve i 20 år, men mange tror at de vil kunne stå en del lenger. Også vedlikeholdskostnader vil være beheftet med usikkerhet for nye og uprøvde teknologier.

For en teknologi som vindkraft kan læring gi lavere investeringskostnader per turbin (per MW kapasitet), bedre utvelgelse av utbyggingsområder, bedre plassering

i terrenget, redusere miljølempen, lengre levetid, lavere vedlikeholdskostnadene og optimalisering av den løpende kraftproduksjonen. Det jobbes også med helt nye konsepter for å høste energien fra vinden. For en oversikt over de mange forbedringene som har brakt vindkraften dit den er i dag og noen videre perspektiver, se for eksempel artikkelen [Where Is The Real Innovation In Wind Energy? fra CleanTechnica \(Barnard, 2014\)](#).

Både for de teknologiene som omtales i Revolution Now og på en rekke andre områder er det gode muligheter til å få kostnadene lenger ned, kanskje betydelig lenger ned. Det jobbes langs ulike teknologispor basert på forskjellige materialer, for å forbedre ytelsen og få ned kostnadene.

4.2 Hele energisystemet må bygges om

Noen steder er strøm fra vindkraft og solceller nå billigere enn strøm fra ny kullkraft (fulle kostnader), også når man ser bort fra [kullkraftens klima- og miljøkostnader. \(Parkinson, 2013\)](#). Dette illustrerer den fantastiske suksessen satsingen på sol- og vindkraft har vært. Men *fantastisk* er i dette tilfellet *ikke tilstrekkelig*. Hvis vi skal lykkes med å begrense global oppvarming til +2 °C, er det nødvendig å videreføre satsingen.

En sentral utfordring kan beskrives med utgangspunkt i forskjellen mellom fossil kraftproduksjon på den ene siden og vind- og solkraft på den andre: Mens fossil kraftproduksjon kan reguleres og tilpasses forbruket, er kraftproduksjonen fra sol- og vindkraft avhengig av været og derfor svært variabel. Noen ganger vil det nesten ikke bli produsert kraft fra solpaneler og vindturbiner i Europa. Dette *kan* skje samtidig som strømforbruket er høyt, for eksempel i vindstille og kalde perioder om vinteren. Dette er en betydelig utfordring som må løses, siden innmatingen av kraft i nettet alltid må være like stor som uttaket.

Den overordnede utfordringen er å utvikle et energi- og kraftsystem som både har minimale CO₂-utslipp og høy forsyningssikkerhet. I tillegg er det et viktig mål å gjøre dette så billig som mulig, både for å spare ressurser og for å gjøre det lettere å få global tilslutning til denne typen klimatiltak.

Vi skal her i kapittel 4.2 se nærmere på denne utfordringen – og jeg utdyper flere av problemstillingene ytterligere i Vedlegg 2. En god forståelse av utfordringene er viktig når man skal vurdere hva som er en kostnadseffektiv og virkningsfull klimastrategi i energisektoren.

Det er to grunner til at jeg nedenfor fokuserer spesielt på kraftsystemet: i) elektrisitet vil få økende betydning når utslippene skal reduseres i energisektoren og ii) et kraftsystem med høy forsyningssikkerhet er helt avgjørende for et moderne samfunn. EUs veikart for 2050 innebærer at kraftsektoren i Europa må ha nær null CO₂-utslipp i 2050. Dette krever et radikalt annet kraftsystem enn man har i dag. Systemet må utvikles slik at nye produksjonsteknologier, lagringssystemer for kraft, forbrukerfleksibilitet og overføringsnett *til sammen* sikrer robustheten og bærekraften til en lavest mulig total kostnad. For å lykkes trenger vi teknologiutvikling, omfattende langsiktige investeringer, gode institusjonelle rammer og egnede markeder for å koordinere utvikling og drift av hele systemet.

4.2.1 En dobbel utfordring: økende kvalitetskrav og avvikling av regulerbar produksjon

Elektrisitet spiller en stadig viktigere rolle i samfunnet fordi vi bruker elektrisitet til flere tjenester. Dette henger sammen med utviklingen av IKT, med elmotorens nyttige egenskaper når ulike mekaniske operasjoner skal utføres, med velstandsvekst og dessuten med klimapolitikk. Kravene til sikker kraftforsyning blir høyere når flere tjenester er avhengig av strøm for å fungere.

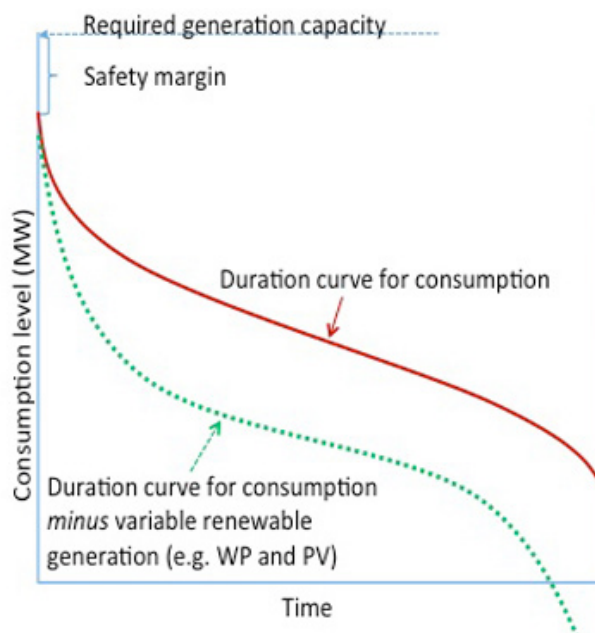
Kraftsystemet står overfor en dobbel utfordring: Samtidig som kravene til forsyningssikkerhet vil bli skjerpet i årene fremover, medfører klimapolitikken at man må erstatte styrbar og stabil fossil kraftproduksjon med utslippsfri kraftproduksjon som i de fleste tilfeller er mindre fleksibel og dessuten i mange tilfeller varierer med værforholdene. Den mest fleksible fornybare kraften er basert på biomasse (bioenergi) som kan styres omtrent som fossil kraft, og vannkraft med magasin som kan være svært fleksibel innenfor de rammene som magasinet, vannføringsrestriksjoner og nedbøren setter. Geotermiske kraftverk kan kjøre jevnt, men er så langt kun aktuelle i områder med spesielt gunstige geologiske forutsetninger.

Man kan basere et helt kraftsystem på fossil kraft, men man kan altså ikke på samme måte basere et kraftsystem kun på sol- og vindkraft. Selv om fremgangen for sol- og vindkraft har vært imponerende og kan fortsette, må man utvikle en rekke tilleggsløsninger hvis kraftsystemet skal kunne fungere på en akseptabel måte uten fossil kraft.

Fossilt brensel vil i flere tiår være en del av energimiksen og bidra til fleksibilitet i kraftsektoren. Men siden det kan ta mange år å utvikle gode nye utslippsfrie løsninger, er det viktig å starte prosessen nå (jamfør den tiden det har tatt å utvikle vindkraft og solceller). Jo raskere man utvikler gode alternative løsninger, desto tidligere vil det være mulig å trappe ned bruken av fossil energi. Behovet for ny fleksibilitet vil dessuten melde seg med økende styrke i de kommende tiårene etter hvert som andelen fornybar kraft stiger og andelen fossil kraft går ned.

4.2.2 Utfordringen med variabel fornybar kraftproduksjon

Generelt utfyller vindkraft og solkraft hverandre på en god måte i Europa. Vindkraften produserer mest i vinterhalvåret når forbruket er størst, og solkraft produserer om dagen og mest i sommerhalvåret. Likevel finnes det perioder hvor samlet produksjon fra sol- og vindkraft vil være nær null. Også gjennomsnittlig produksjon per uke og måned varierer mye, og i en undersøkelse som er gjengitt i Vedlegg 2 fant man at *årlig* totalproduksjon av sol- og vindkraft for en stor gruppe



Figur 4.3 Illustrasjon av varighetskurve for forbruk og varighetskurve for forbruk minus variabel fornybar kraft

varierer med +/- 14 %. Det at man kan ha lange perioder med relativt liten kraftproduksjon fra sol- og vindkraft har implikasjoner for hva slags løsninger som kan brukes til å dekke forbruket.

I figur 4.3 har jeg tegnet en typisk varighetskurve for strømforbruket i et tenkt land (rød kurve). Her er forbruket hver time i et representativt år sortert etter størrelsen på forbruket, fra høyeste forbruk (til venstre) til laveste forbruk (til høyre). For å betjene denne forbruksprofilen trenger man en produksjonskapasitet som er en del større enn det høyeste forbruket¹⁵.

Samlet kraftforbruk over året (kWh) er lik arealet under den røde varighetskurven for forbruket. Vi tenker oss at forbruket i utgangspunktet dekkes av fossil kraft. Landet bygger så ut en betydelig mengde vind- og solkraft. Vind- og solkraftens produksjonsmønster medfører at det vil komme perioder hvor disse nesten ikke bidrar samtidig som forbruket er maksimalt, for eksempel når det er nesten vindstille og veldig kaldt om vinteren. Slike perioder behøver ikke komme hvert år, poenget er at det kan skje noen ganger. Dette er en utfordring som må løses siden et moderne samfunn ikke vil akseptere vesentlige avbrudd i strømforsyningen. Til det er kostnadene i form av tapt produksjon og velferd for store.

For å få et bilde av behovet for annen kraftproduksjon enn sol- og vindkraft, kan vi tegne varighetskurven for *forbruk minus produksjon av sol- og vindkraft* slik jeg har gjort med den stiplede grønne kurven i figur 4.3. (Man finner forbruk minus sol- og vindkraft for hver time gjennom året. Disse tallene sorteres så fra høyeste til laveste verdi i den grønne kurven.) Som man ser av figuren trengs det nesten like mye fossil *kapasitet* som før utbyggingen for å dekke det maksimale forbruket, men de fossile kraftverkene vil produsere mindre kraft over året. Nedgangen i fossil kraftproduksjon er lik arealet mellom de to kurvene. Helt til høyre i figuren ser vi at forbruk minus vind- og solkraft blir negativt. Her er fornybar kraftproduksjon større enn forbruket. Hvis man ikke kan eksportere denne overskuddskraften, finne nye bruksområder eller lagre den for senere bruk, vil denne kraften gå til spille. (Jeg kommer tilbake til muligheter for å utnytte overskuddskraften.) I en situasjon hvor fornybar kraft går til spille er den marginale verdien av kraftproduksjon nær null.

I dette eksemplet går ikke de *faste* kostnadene til fossil kraftproduksjon nevneverdig ned, siden man nesten trenger like stor fossil kapasitet etter utbyggingen av sol- og vindkraft. Man får økte kostnader ved utbygging av vind- og solkraft og sparer de *variable* kostnadene ved den fossile kraften som erstattes av fornybar kraft. De variable kostnadene som spares er først og fremst brenselkostnader og kostnader ved CO₂-utslipp og annen forurensning (dessuten kan drifts- og vedlikeholdskostnadene bli litt redusert). Siden man må opprettholde tilnærmet full kapasitet i fossile kraftverk, kan dette samlet sett bli en dyr løsning. Dessuten vil

¹⁵ Man trenger en sikkerhetsmargin for å takle at kraftverk kan stoppe på grunn av driftsproblemer. Man har f.eks. opplevd samtidig bortfall av betydelige mengder kjernekraft i flere land (bl.a. Sverige) i de senere år. For å begrense risikoen for forsyningsproblemer ønsker man derfor å ha en samlet kapasitet som er en del større enn maksimalforbruket. Denne sikkerhetsmarginen sørger for at sannsynligheten for forsyningsproblemer blir liten. Siden variabel fornybar kraft *noen ganger* vil produsere mye når forbruket er på topp, reduserer den fornybare kraftproduksjonen *antall timer* hvor det er behov for stor kapasitet. Dermed vil den fornybare kraften også redusere sannsynligheten for forsyningsproblemer noe. Solceller kan for eksempel gi viktige bidrag til forsyningsikkerhet i Europa ved hetebølger hvor konvensjonelle varmekraftverk kan få problemer med kjølingen. For å forenkle framstillingen ser jeg bort fra behovet for sikkerhetsmargin i resten av drøftingen.

man ikke få utslippene tilstrekkelig ned på lang sikt. *Det er derfor behov for bedre løsninger, både for å få utslippene ned mot null og for å begrense de totale kostnadene.* I resten av kapitlet skal jeg drøfte denne utfordringen og bidrag til løsning, trinn for trinn.

Underskuddsproblemet og overskuddsproblemet

Underskuddsproblemet er at selv med en veldig stor utbygging av for eksempel sol- og vindkraft vil vi få perioder hvor den fornybare produksjonen ikke er tilstrekkelig til å dekke forbruket. Utfordringen er å løse dette problemet uten CO₂-utslipp og uten altfor høye kostnader.

Overskuddsproblemet er at vi i noen perioder får en fornybar kraftproduksjon som er vesentlig større enn forbruket. Kraftsystemet kan lett takle denne situasjonen ved å stenge ned en del kraftproduksjon. Vindmøller kan for eksempel stå stille selv om det blåser. Men økonomisk er det naturligvis mye bedre hvis denne kraften kan brukes til verdiskaping. Det vil redusere kostnaden ved et utslippsfritt kraftsystem og kan dessuten redusere utslipp på andre områder.

Tiltak som lagrer kraft eller flytter forbruk og produksjon fra en periode til en annen kan bidra til å løse både underskudds- og overskuddsproblemet.

4.2.3 Avtagende lønnsomhet ved utbygging av hver enkelt teknologi – optimal miks

Strøm kan ikke lagres uten betydelige kostnader, og forbruket varierer mye over tid – jamfør varighetskurven i figur 4.3. Dette medfører at det er kostnadseffektivt å bruke flere teknologier for kraftproduksjon. Teknologier med lave variable kostnader og høye faste kostnader vil gjerne være mest effektive for såkalt grunnlast, dvs. at de gir lave kostnader per kWh når de kan kjøre jevnt det meste av året. Teknologier med relativt lave faste kostnader og høye variable kostnader (som for eksempel gassturbiner) er derimot bedre egnet til å dekke toppene i forbruket. Gassturbiner kan også reguleres opp og ned raskt til en relativt lav kostnad.

Den optimale sammensetningen av produksjonskapasiteten avhenger av varighetskurven for forbruket og av hvor store de faste og variable kostnadene er for de ulike tilgjengelige teknologiene.

Det at kraftforbruket varierer og må betjenes av ulike produksjonsteknologier med ulike variable kostnader, medfører at marginalkostnaden ved å dekke det løpende forbruket (markedsprisen) varierer betydelig innenfor døgnet og uka.¹⁶ Når forbruket er høyt (og vindkraftproduksjonen lav) må man ta i bruk kraftverkene som har høyest produksjonskostnader, og markedsprisen blir derfor høy.

Når det er stor produksjon av vindkraft trenger man ikke starte like mange fossile kraftverk. Man kan klare seg med å starte kraftverk med relativt lave produksjonskostnader. Kraftprisen blir dermed lavere i disse timene. Dette kalles merit-order-effekten. Den blir sterkere jo mer vindkraft man bygger ut. Hvis samlet

¹⁶ Et unntak er det norske/nordiske vannkraftsystemet. Her varierer prisene lite innenfor døgnet og uka, fordi man har store energilagere i vannmagasinene. Vannkraftverk med magasin flytter så mye som mulig av kraftproduksjonen til periodene med høyest pris. Dette begrenser de kortsiktige svingningene i den nordiske kraftprisen.

vindkraftproduksjon er større enn forbruket pluss eksportmuligheter, blir (den samfunnsøkonomisk korrekte) kraftprisen tilnærmet lik null.¹⁷

I kraftmarkeder dominert av varmekraft er kraftprisen gjerne betydelig høyere om dagen enn om natten. Det skyldes at forbruket er høyest på dagen. Solkraft (både solceller (PV) og konsentrert solkraft) kan høste en fordel av dette, men det er verdt å merke seg at hvis det bygges ut mye solkraft vil markedsprisene bli presset langt ned på dager med gode solforhold. Man vil få perioder hvor kraftprisen er høyere om kvelden og natten enn om dagen. Lavere priser i perioder med mye sol vil reflektere at nytten av mer solkraft (PV) gradvis faller når man bygger ut flere solpaneler. Hvis kraften kan lagres og brukes på andre tider, eller hvis forbruket kan økes i de aktuelle periodene, for eksempel til å lade elbiler, vil prisen bli mindre.

Hvis solkraft eller vindkraft blir billigere, vil det bli lønnsomt å bygge ut mer. Hvis kostnadene blir tilstrekkelig lave kan det være lønnsomt å bygge ut kapasiteten til et nivå hvor en del av produksjonen er verdiløs. Lønnsomheten er gitt ved *samlet verdi av årlig kraftproduksjon minus kostnadene*. Man må ikke nødvendigvis tjene penger på all kraften man produserer. Men det er naturligvis alltid bedre hvis man kan skape verdier av all den fornybare kraften.

4.2.4 Hvordan kan vi skape et robust og effektivt kraftsystem uten CO₂-utslipp?

Jeg skal nedenfor beskrive tre hovedtyper av tiltak som kan bidra til å skape balanse mellom forbruk og produksjon i et kraftsystem med CO₂-utslipp nær null:

1. *Utjevning av tilfeldige variasjoner* i fornybar kraftproduksjon ved å bygge ut ulike teknologier (med ulikt produksjonsmønster) og ved å koble sammen ulike områder
2. *Utvikle ny fleksibilitet* i kraftproduksjon, forbruk og ved lagring av kraft og energi, for å skape balanse mellom forbruk og produksjon, og for å utnytte overskuddsproduksjon av fornybar kraft så effektivt som mulig
3. *Utnytte eksisterende fleksibilitet bedre* ved å bygge sterkere nett, slik at ledig fleksibilitet i ett område kan bidra til å balansere andre områder. Sterkere nett gjør det også mulig å bygge ut mer fleksibilitet der dette er billigst

(1) Utjevning av tilfeldige variasjoner i uregulert kraftproduksjon. Ved utbygging av flere typer fornybar kraftproduksjon (med ulike produksjonsmønstre – jamfør vindkraft og PV), oppnår vi en jevnere samlet kraftproduksjon. Supplerende fornybare teknologier kan være geotermisk kraft, nye typer vindkraft, bølgekraft, tidevannskraft, kraft fra havstrømmer og osmosekraft (saltgradienter). Kjernekraft og fossil kraft med CCS vil også bidra til mindre tilfeldig variasjon i samlet utslippsfri kraftproduksjon. Biobrensel som brukes til kombinert produksjon av

¹⁷ Kraftprisen kan også bli null eller negativ selv om det er noe fossil kraftproduksjon eller kjernekraft som produserer. Det skyldes at det koster en del å stanse termisk kraftproduksjon for senere å starte den igjen. For en kort periode kan det derfor lønne seg å holde produksjonen i gang selv om prisen er null eller negativ. Mye fornybar kraft har ikke slike start- og stoppkostnader, og samfunnsøkonomisk vil det være fornuftig å stanse denne kraftproduksjonen hvis prisen blir null eller negativ. Men når fornybar kraft får støtte per kWh produsert, uavhengig av hva kraftprisen er, kan man tjene penger på å produsere kraft selv om markedsprisen er negativ. I slike situasjoner fungerer støtten som en støtte til å skape problemer i systemet. Dette er en svakhet ved mange støtteordninger, og man bør endre reglene slik at anleggene ikke mottar støtte for produksjon i timer hvor kraftprisen er null eller negativ.

kraft og varme (CHP) vil ofte produsere mest kraft når det er kaldt. I land med et kaldt klima er dette gunstig, siden kraftforbruket også er størst i slike perioder.

Man oppnår også en betydelig utjevning av variabel fornybar kraftproduksjon ved å koble sammen områder som ligger langt fra hverandre. Ser man på samlet kraftproduksjon fra mange vindparker som er spredt over et større område, blir produksjonen jevnere enn for hver enkelt vindpark. Ofte vil likevel alle landene rundt Nordsjøen ha mye vind eller lite vind samtidig. Tar man med et større område, som det nordlige Skandinavia og Sør-Europa, blir samvariasjonen i vind mindre. Tilsvarende vil man finne at samvariasjonen i kraftproduksjon fra solpaneler avtar med økende avstand. Økt overføringskapasitet er en forutsetning for å kunne utnytte denne effekten.

Noen områder har spesielt gode vindforhold, andre har spesielt gunstige solforhold, atter andre har mulighet for geotermisk kraft eller elvekraft osv. Et sterkt nett mellom land og regioner gjør det lettere å utnytte de forskjellige produksjonsmulighetene effektivt.

Noen av teknologiene jeg har nevnt over er svært umodne og det er naturligvis usikkert hvor mange av dem som vil lykkes. Siden teknologiene er umodne kan det være fristende å tenke at de neppe vil bidra vesentlig i fremtiden. Men det er verdt å minne om at mange tenkte akkurat slik om vindkraft og solceller for 20 år siden.

(2) Ny fleksibilitet. Flexibiliteten kan komme a) i *kraftproduksjonen*, b) hos *forbrukere* og c) i form av økte muligheter for *lagring av kraft og energi* fra perioder med overskudd til perioder med underskudd. Lagring kan skje hos kraftprodusenter, forbrukere eller netteiere, avhengig av hva som er mest hensiktsmessig for ulike teknologier.

På produksjonssiden gir ny vannkraft med magasin økt fleksibilitet. Det er dessuten mulig å bygge en del mer pumpekraft i Europa ved å bruke eksisterende innsjøer som magasin. I et pumpekraftverk pumper man opp vann fra et lavereliggende magasin til et høyereliggende magasin når det er overskudd av kraft (lav pris). Man produserer kraften senere når kraftprisen er høyere. Energitalpet ved pumping og senere kraftproduksjon er om lag 20 %. (Virkningsgraden er om lag 80 %.) En betydelig del av dette potensialet er i Norge, men også andre land har muligheter. Man kan også bygge nye kunstige magasiner for pumpekraft, slik man har gjort i en del land. Dette blir naturligvis mye dyrere enn å utnytte naturlige magasin. Kombinert kraft- og varmeproduksjon basert på biobrensel (CHP) kan gjøres mer fleksibel enn i dag ved å legge til et varmelager og gjøre andre modifikasjoner. Man kan da i større grad kjøre anleggene ut fra kraftsystemets behov og lagre overskuddsvarmen som oppstår til senere. (For eksempel kan man produsere kraft om dagen og levere varme hele døgnet.) Man kan også gjøre tilpasninger slik at man kan stoppe kraft- og varmeproduksjonen i perioder med svært lave kraftpriser (overskudd), og i stedet *kjøre kraft* for å dekke varmebehovet. Biogass kan brukes fleksibelt i et tradisjonelt gasskraftverk. Gassturbiner kan være en aktuell løsning for å dekke sjeldne, men langvarige forbrukstopper, eventuelt ved hjelp av noe fossil gass hvis man ikke har nok biogass eller gass fra hydrogen (se nedenfor). Det er mye billigere

å lagre store volumer av energi i form av gass enn i form av batterier.¹⁸ Konsentrert solkraft akkumulerer varme i en kjerne og kan derfor også regulere kraftproduksjonen en del, særlig for å dekke forbruk utover kvelden.

Forbruket kan bli mer fleksibelt. For mindre forbrukenheter vil utvikling av smarte styringssystemer og kommunikasjonsløsninger (smart grid) være viktig for å utløse fleksibiliteten. Noen typer forbrukerfleksibilitet kjennetegnes av at kraftforbruket flyttes i tid. I et marked vil en slik tilpasning normalt være styrt av *prisforskjeller mellom perioder*. Det samme gjelder for flytting av kraftproduksjon i tid, for eksempel i vannkraftverk med magasin. Flytting av kraftforbruk og kraftproduksjon kan redusere både overskudds- og underskuddsproblemet.

I andre tilfeller økes eller reduseres forbruket i en periode uten at det endres i motsatt retning på andre tidspunkt. Bedrifter kan i noen tilfeller stoppe virksomheten midlertidig fordi kraftprisene er så høye at produksjon ikke lønner seg, og husholdninger kan velge å redusere en del av strømforbruket når prisen er veldig høy. En annen form for fleksibilitet består i at man veksler mellom bruk av elektrisitet og andre energibærere, for eksempel til oppvarming.

Fleksibiliteten i kraftforbruket kan økes betydelig ved elektrifisering i transport- og varmesektoren. Jeg kommer tilbake til det nedenfor.

Lagring av kraft og energi. Jeg har allerede nevnt pumpekraft. Man kan også lagre energi i form av trykkluft, for eksempel i gamle gruver. Potensialet er begrenset og virkningsgraden er 70-80 %. Det jobbes også med en rekke andre konsepter for lagring av kraft og energi for ulike formål, med ulik lagringstid, responstid, kapasitet osv.

Energilagring i varmesystemet kan få stor betydning i fremtiden og beskrives under temaet integrasjon av kraftsektoren med varme- og transportsektoren.

Med dagens batteripriser, antall ladesykluser batteriene tåler og energitap (mer enn 15 % for flere typer, mens Li-ion har tap under 5 %) per ladesyklus, er vi langt unna at det er lønnsomt å investere i batterier for å kjøpe strøm når kraftprisen er lav og selge strøm når prisen er høy. Men flere typer batterier har hatt betydelig fremgang de siste årene og kan bli aktuelle i ulike sammenhenger. Som vi så i kapittel 4.1 har US Department of Energy som mål å få kostnadene ved Li-ion batterier ned i \$125 per kWh lagringskapasitet innen 2022. Og for stasjonære batterier kan det være enklere å redusere kostnaden siden man da ikke har de samme begrensningene med hensyn til vekt og volum. Det at det jobbes med mange ulike teknologier gir håp om nye gjennombrudd og et vesentlig fall i kostnadene.¹⁹

¹⁸ Sesonglagring av gass brukes både i Europa og i en rekke andre markeder for å kompensere at forbruket av gass er høyere om vinteren enn om sommeren, mens produksjonen av gass er jevnere over året. Det finnes store lagre, (bl.a. i gamle gassfelt) som kan brukes også i fremtiden. Kostnadene ved å lagre gass på sesongbasis er relativt lav. Lagringskostnadene gjør at gassprisen normalt er noe høyere om vinteren enn om sommeren.

¹⁹ Sommeren 2014 har det kommet tre interessante nyheter om mulige framsteg på batterifronten: (1) Et japansk selskap har annonsert gjennombrudd for *dual carbon* batterier. Utviklerne hevder disse vil bli billigere enn lithium-ion, de vil være basert på lett tilgjengelige, ufarlige og gjenvinnbare materialer og batteriet skal kunne lades 20 ganger så raskt som dagens lithium-ion. ([Borghino, 2014](#)) (2) I følge [Ingram \(2014a\)](#) hevder japanske forskere at de har utviklet et batteri som har 7 ganger så høy energitetthet som dagens lithium-ion batterier, og som dessuten skal bli billigere og sikrere. En slik forbedring av energitettheten innebærer at batteriene i en elbil vil ta mindre plass enn bensintanken i en vanlig bil av samme størrelse og med samme kjørelengde. Hvis dette

Det kan også tenkes at batterier som får nedsatt funksjonalitet etter mange års bruk i elbiler og andre steder med høye krav til ytelse, kan bli et relativt billig energilager for kraftsystemet.

Med utgangspunkt i kostnads målet på \$125 per kWh fra US Department of Energy for 2022, kan man betegne en *eventuell* kostnadsreduksjon ned til \$25 per kWh som en revolusjon. Men selv med en slik pris vil lagring i større skala og for lengre tid være dyrt, og mange andre alternativer vil være billigere. En kostnad på \$25 per kWh betyr at en lagringskapasitet på 1 TWh koster \$25 milliarder, eller i overkant av 150 milliarder kroner. (En lagringskapasitet tilsvarende samlet magasinkapasitet i det norske vannkraftsystemet ville koste mer enn 13.000 milliarder kroner.)

Mange systemutfordringer blir enklere å løse hvis kostnadene ved batterier faller vesentlig og kvaliteten blir bedre. Selv om batterier skulle forbli relativt dyre, kan lønnsomheten bli akseptabel der hvor batteriene kan dekke flere behov og særlig hvis de kan brukes hyppig. Batterier som trengs for å sikre forsyningen ved feil i nettet, for eksempel i basestasjoner for mobilnettet, kan trolig også brukes til å støtte kraftsystemet ved behov. I tilfeller hvor stasjonære batterier kan redusere behovet for nettinvesteringer blir også lønnsomheten bedre.

Batterier gjennomgår en veldig spennende teknologisk utvikling som kan gi mange muligheter. Men det er viktig å huske at det finnes flere andre former for fleksibilitet som kan være billigere i mange situasjoner, og at ulike kilder til fleksibilitet kan ha ulike fortrinn. Som vi skal se i 4.2.5 kan varmesektoren sannsynligvis levere både langsiktig og kortsiktig fleksibilitet i stort omfang.

(3) Bedre utnyttelse av eksisterende og mulig ny fleksibilitet. Et sterkere nett gjør det mulig å bruke ledig fleksibilitet i ett område til å håndtere ubalanser i andre områder. Med et sterkere nett kan man også bygge ut ny fleksibilitet der det er billigst, for eksempel i det norske vannkraftsystemet.

I tillegg til de faktorene som er gjennomgått over, vil energieffektivisering som reduserer forbruket i situasjoner hvor det lett oppstår knapphet på kraft ha stor verdi for samfunnet, både økonomisk og som bidrag til bærekraftig utvikling. Ulike tiltak for energieffektivisering vil påvirke *tidsprofilen* for forbruket ulikt. I mange land er maksimalforbruket av elektrisitet (og energi til oppvarming) knyttet til kuldeperioder. Bedre isolasjon av bygg (lavere varmetap) vil da gi lavere maksimalforbruk. En overgang fra oppvarming med fossil energi eller biobrensel til bruk av varmepumper kan være svært energieffektivt og gunstig ut fra en totalvurdering, men *kan* gi høyere maksimalforbruk av strøm. Hvis varmepumpene kan styres smart, slik at de stopper når forbruket er på det høyeste, kan økningen i maksimalt forbruk i mange tilfeller dempes. Denne problemstillingen kommer jeg tilbake til nedenfor.

blir mulig åpner det for bruk av batterier på mange nye områder. (3) Tesla har sammen med Toshiba, besluttet å bygge en fabrikk som om noen år vil doble verdens kapasitet for å produsere lithium-ion batterier. Tesla har tidligere sagt at denne utvidelsen skal få kostnadene ned med 30 %. Det har vært antydning at dette er et konservativt anslag og uavhengige observatører har spekulert på om kostnadene allerede i 2017 kan komme ned til \$100 per kWh. (Ingram, 2014b) Det er vanskelig å vite når eller om alle disse forbedringene vil komme på markedet. Men hver av dem *kan få* stor betydning, spesielt for bruk av elektrisitet i transportsektoren.

4.2.5 Integrasjon mellom kraft-, varme- og transportsektoren gir flere fordeler

Det er ofte lettere å få ned CO₂-utslippene ved kraftproduksjon enn ved annen energibruk. Ved å redusere utslippene i kraftsektoren og ta i bruk stadig renere elektrisitet i andre sektorer kan man få ned utslippene der. Elektrifisering er et virkemiddel for å redusere CO₂-utslippene i hele energisektoren.

Utslippene fra energibruk er tett koblet til valg av transportløsninger og motortyper, oppvarmingsløsninger, utforming av bygg og byer, og til valg av energibærere og type kraftproduksjon. Slike valg kan binde samfunnet til høye utslipp i mange år. En kostnadseffektiv ombygging av energisystemet innebærer at nye løsninger i stor grad bør bygges når det er behov for reinvesteringer eller nyinvesteringer i systemet. Når man renoverer eller bygger nye bygg, må man legge til rette for fremtidsrettede energiløsninger. Når gamle fossile kraftverk er modne for nedleggelse er det viktig at de erstattes med utslippsfrie løsninger, osv.

Ombyggingen i kraftsektoren og i sektorene som tar i bruk elektrisitet, må foregå parallelt for at man skal kunne fase inn de nye løsningene på økonomisk hensiktsmessige tidspunkt. Hvis ikke omstillingen foregår parallelt, vil den ta altfor lang tid, eller bli urimelig kostbar.

Vi skal nedenfor se hvordan økt integrasjon mellom kraftforsyningen og transport- og oppvarmingssektoren gjør energi- og kraftsystemet robust, gir god ressursutnyttelse og gjør det lettere å få ned CO₂-utslippene i alle de tre sektorene.

I transportsektoren kan *elektriske kjøretøy* gi et viktig bidrag til utslippsreduksjoner. Når batteriene blir gode og billige nok (jamfør 4.1) har elbiler en rekke fordeler fremfor tradisjonelle biler. Elbilen bruker om lag en tredjedel av energien som trengs for en bensinbil, elektriske motorer er stillegående og uhyre slitesterke, og de gir heller ikke lokal forurensning. *Hydrogen*, som kan fremstilles med strøm ved elektrolyse, kan også få en viktig rolle i transportsektoren. Hydrogen fra en tank i kjøretøyet brukes til å produsere strøm i en brenselcelle. Strømmen driver en elmotor, som i en elbil. Både batteri- og hydrogenløsninger opplever en betydelig teknologisk fremgang, samtidig som de to teknologiene har ulike styrker og svakheter. Brenselceller har i de senere år blitt mer energieffektive, mindre, lettere og betydelig billigere. Også hydrogentankene har blitt lettere og billigere. Kanskje vil elbiler med batteri bli den beste løsningen for mindre kjøretøy, mens hydrogen blir foretrukket for større kjøretøy med stor kjørelengde. Og kanskje vil teknologiene i noen sammenhenger bli integrert i form av elbiler med en liten brenselcelle og en liten hydrogentank som rekkeviddeforlenger?²⁰

Også innen kollektiv- og varetransport kan man få økt bruk av strøm eller hydrogen. Sør-Korea tester løsninger med elektriske busser, hvor batteriene lades trådløst når de stopper på holdeplassene. Hydrogen er også aktuelt for kollektivtransport og tyngre varetransport. I storbyer med store forurensningsproblemer vil transportløsninger basert på elektrisitet og hydrogen gi betydelig reduksjon i lokal forurensning. I Norge gjøres det pilotforsøk med en elektrisk ferje.

²⁰ Det foregår et kappløp mellom ulike batteriteknologier og hydrogenløsninger. Det er vanskelig å vite hva som til slutt vil bli de beste løsningene på ulike områder. Tanker for lagring av hydrogen har visse stordriftsfordeler, men dersom batterier får tilstrekkelig høy energitetthet og lave kostnader, eller kan lades veldig raskt (for eksempel mens man kjører) kan batteribasert elektrisk framdrift bli best også for ganske store kjøretøy.

Løsninger basert på elektrisitet og hydrogen blir neppe den eneste ikke-fossile løsningen for transportsektoren. Også biodrivstoff som ikke konkurrerer med matressurser kan få en viktig rolle, for eksempel i fly, skip og tungtransport. For bioenergi pågår det nå mye forskning på konverteringsprosesser (biokjemisk og termokjemisk) til ulike formål for bruk som biogass, bioolje mm. En drivkraft her er fokuset på bioraffinering som kan gi mer lønnsomme verdikjeder, fordi bruken av biomassen optimaliseres for anvendelse både til energiformål og til andre formål. Uttak av biomasse må være bærekraftig, man må se på hele kretsløpet og avveie uttak mot verdien av å binde karbon lenger i for eksempel skog.

Bioenergi vil kunne spille en viktig rolle i ulike deler av energisystemet som i transportsektoren eller fleksibilitet i varmesektoren. IEA-analyser og EU-policier framhever også behovet for flere energisystemer som kan samhandle.

Lading av batterier til elbiler og produksjon av hydrogen ved elektrolyse, kan i betydelig grad spille sammen med kraftsystemet og bidra til fleksibilitet. Personbiler står parkert det meste av tiden og de kan derfor ha en viss frihet med tanke på når og hvor raskt de lader batteriene. Særlig er natten ofte en egnet periode for lading, både for kraftsystemet og for bileierne. Hydrogen gir enda større fleksibilitet, ved at hydrogen kan produseres fra strøm i perioder med god tilgang på kraft og lagres under trykk i store tanker. Kjøretøyene fyller så ved behov opp tanken i bilen, slik man nå gjør med bensin og diesel.

Batterier i elbiler og hydrogenløsninger kan også levere kraft tilbake til nettet i perioder med stort behov for kraft. I Tyskland er maksimalforbruket av kraft en kald vinterdag rundt 80 GW. Om en del år er det godt mulig at elbiler kan levere 10 – 15 GW, kanskje mye mer, i løpet av 6-8 kritiske timer.²¹

Fleksibiliteten som elbiler kan bidra med vil være relativt kortsiktig. Ladingen kan ofte utsettes litt, og man kan levere tilbake til nettet noe av den lagrede kraften, men eierne av elbiler vil neppe redusere kjøringen mye selv om strømprisene blir veldig høye. Den langsiktige fleksibiliteten er derfor svært liten.

For hydrogen kan fleksibiliteten være mer langsiktig, på grunn av større energilager i de stasjonære hydrogentankene. Hvis det bygges opp større verdikjeder hvor hydrogen enten brukes direkte i transportsektoren eller videreføres til for eksempel metangass (power to gas) eller flytende brensel, kan man oppnå enda større fleksibilitet. Rundgangen fra strøm til hydrogen og tilbake gir et betydelig energitap og det jobbes med å redusere tapet, både ved elektrolyse (ca 70 % virkningsgrad) og ved produksjon av strøm i brenselcellen (typisk 40-60 % virkningsgrad). (Hvis man kan utnytte spillvarmen ved komprimering av hydrogengass og ved kraftproduksjon i brenselcellene blir lønnsomheten bedre.)

²¹ Anta at Tyskland i 2040 har 20 millioner elbiler med gjennomsnittlig batteristørrelse på 60 kWh, 60 % av bilene står til enhver tid parkert og tilknyttet nettet, og bileierne aksepterer i gjennomsnitt at nettet kan trekke ut 10 % (inntil 6 kWh) av batterikapasiteten når det er behov for det. (Neppe så ofte.) Med antakelsene over vil elbilene kunne levere 72 GWh. Hvis dette for eksempel leveres over 6 timer, tilsvarer det en innmating på 12 GW. *Det utgjør mer enn 14 % av maksimalforbruket i Tyskland på en kald vinterdag.* Det vil være nødvendig å utvikle styringssystemer (smart grid) og avtaler for kompensasjon til bileierne. Det kan tenkes at bileierne tillater at batteriene tappes mer enn 10 % hvis systembehovet er spesielt stort og kompensasjonen tilsvarende høy. Elbilene kan også yte flere GW hvis energien leveres på kortere tid. Hvis bilene står kortere tid tilknyttet nettet kan det være en løsning at hver av dem leverer mer kraft til nettet i løpet av en kortere periode.

Den teknologiske og kostnadmessige utviklingen for disse løsningene og utviklingen i resten av energisystemet, vil avgjøre hvor stor betydning hydrogen og videreforedlede produkter får i transportsektoren. Det kan tenkes at hydrogen også vil bli produsert på andre måter enn ved elektrolyse, bl.a. ved å bruke solenergi direkte.

Varmesektoren omfatter oppvarming av bygg og varme til industriprosesser. Denne sektoren er større enn mange forestiller seg. 50 % av sluttbruken av energi i Europa går til oppvarming. I Norden er det samlede varmeforbruket på størrelse med det totale kraftforbruket (rundt 400 TWh) og i Tyskland er varmeforbruket vesentlig større enn kraftforbruket.

I dag brukes det en del biobrensel, noe avfall og mye fossilt brensel til oppvarming. Mange industriland har bygget ut fjernvarmeanlegg i byene og utnytter spillvarme fra varmekraftverk eller fra andre varmekilder i industriprosesser som trenger varme eller i fjernvarmeanlegg. I kullkraftverk blir rundt 40 % av energien i kullet til kraft, mens det meste blir til spillvarme. Gode gasskraftverk kan ha rundt 55 % el-virkningsgrad, de beste opp mot 60 %.

På grunn av den relativt lave virkningsgraden for kraftproduksjon i de termiske verkene, har mange ment at man ikke bør bruke strøm til oppvarming. Oppfatningen har vært at man heller bør brenne den fossile energien direkte for oppvarming. Ved å brenne gass for oppvarming oppnår man om lag 90 % virkningsgrad. Dette kan fremstå som en bedre løsning enn å produsere strøm fra gass med 55 % virkningsgrad og så bruke strømmen til oppvarming. Men når energisystemet skal avkarboniseres og moderniseres blir denne logikken feil av flere grunner:

- Varmepumper gjør allerede strøm konkurransedyktig i varmesektoren, og de vil trolig bli bedre og billigere etter hvert, på grunn av teknologiutvikling og større produksjonsserier. Hvis et gasskraftverk produserer strøm og en varmepumpe lager varme med strømmen, kan man få omtrent *dobbelt så mye varme* fra hver m³ gass som man får ved å brenne gassen direkte for å varme opp.²²
- Ved en omfattende utbygging av for eksempel vindkraft og solkraft vil man, som jeg har vist foran, få perioder hvor samlet utslippsfri kraftproduksjon er større enn kraftforbruket. Alternativet til økt elforbruk i slike perioder er å la den fornybare kraften gå til spille. Større varmesentraler kan bruke elkjeler og kjøpe strøm når kraftprisene er lave på grunn av stor fornybar produksjon. Når det ikke er overskudd av kraft kan man bruke andre energibærere som biomasse. Økte utnyttelse av kraften i overskuddsperioder vil øke lønnsomheten av fornybar kraftproduksjon.
- Bygg kan lagre varme i noen timer. Hvis kraftprisen er spesielt høy i noen få timer, kan man derfor stanse varmepumper og bruke magasinert varme. Hvis man har sentrale varmesystemer kan man bygge lagertanker for varme. Et

²² Med en varmepumpe som gir 3,5 kWh varme for hver kWh strøm, 55 % virkningsgrad i et gasskraftverk, 6 % overføringstap i nettet fram til forbrukeren og 90 % virkningsgrad ved direkte brenning av gass, vil løsningen med gasskraft og varmepumpe gi dobbelt så mye varme per enhet gass som man får ved direkte forbrenning av gassen for oppvarming.

varmelager gir en mye større buffer og gjør det dessuten mulig å kjøre varmepumpen jevnere og dermed mer effektivt. Lagring av varme er relativt billig i større anlegg. Et varmelager øker også mulighetene til å utnytte solvarme i deler av året. I mange store varmeanlegg kan man veksle mellom energibærere. I fremtiden blir det aktuelt å veksle mellom bruk av strøm (varmepumpe eller elkjel) og biobrensel. Mens varmepumper vil gå det meste av tiden og kun stopper når kraftprisen blir spesielt høy, vil elkjeler bruke strøm når kraftprisen er lavere enn prisen på det alternative brenselet. Fleksibel bruk av strøm ved lagring av varme og veksling mellom bruk av strøm og andre energibærere, vil både bidra til å redusere underskuddsproblemet og overskuddsproblemet i et fornybart kraftsystem. Når elektrisitet brukes til oppvarming slik jeg har beskrevet her, vil det gi lavere utslipp, god ressursutnyttelse og større robusthet i energiforsyningen.

- Etter hvert som fossil kraftproduksjon trappes ned blir det mindre spillvarme som kan utnyttes. Mange steder må man da finne nye varmekilder. Dette kan være en varmepumpe, gjerne basert på varme i grunnen. Det kan naturligvis også være aktuelt med kombinert kraft- og varmeproduksjon (CHP) basert på biobrensel. CHP produserer tradisjonelt kraft kun når det er et varmebehov, men slike anlegg kan som nevnt gjøres mer fleksible.

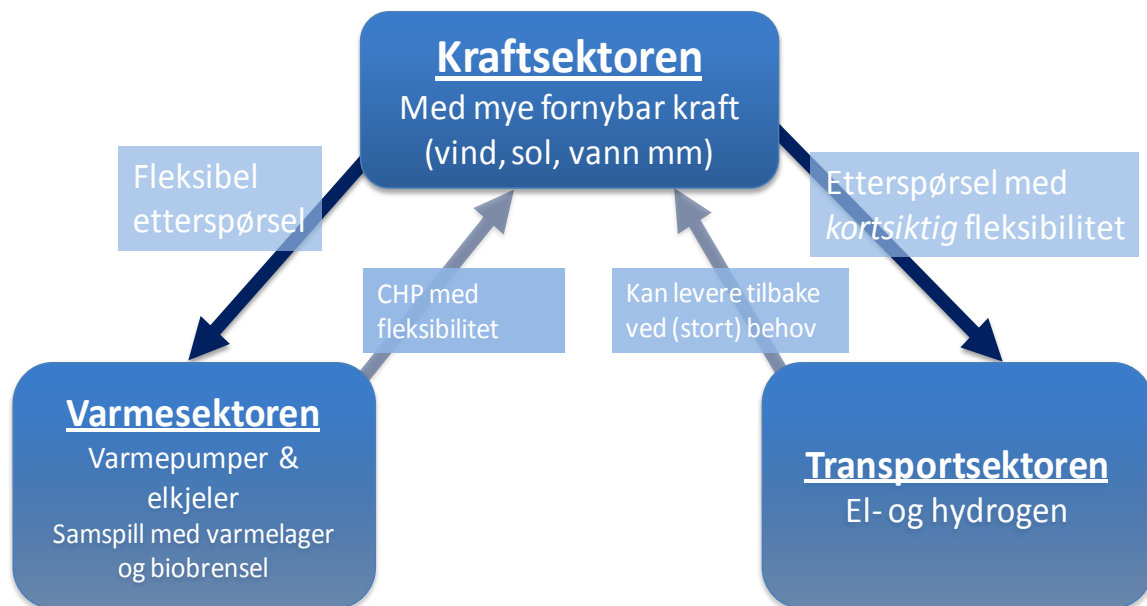
Fleksibel bruk av kraft i varmesystemet gjør det mulig å utnytte variabel tilgang av fornybar kraft på en langt mer effektiv måte. Vindkraften i Europa produserer mest kraft om vinteren. Produksjonen sammenfaller derfor sesongmessig godt med oppvarmingsbehovet. Økt bruk av kraft til oppvarming i perioder med god tilgang på vindkraft og lave kraftpriser, kan både gi bedre økonomi for vindkraften og lavere utslipp av CO₂ fra varmesektoren.

Varmesektoren kan variere sin kraftbruk raskt, og der hvor man har alternative energibærere som biobrensel, kan man også tilby en svært langsiktig fleksibilitet.

I land hvor varmesektoren er stor kan den tilby mye fleksibilitet, både kortsiktig og langsiktig. En del av fleksibiliteten vil trolig også være billig å ta i bruk. For å realisere fleksibiliteten må anlegg modifiseres og sektorreguleringene må legge til rette for en ny måte å drive anleggene på. I tillegg må man ta et oppgjør med *dogmet* at man ikke skal bruke strøm til oppvarming.

Også *kjøling* kan bruke strøm mer fleksibelt enn man tradisjonelt har gjort.

Integrasjonen mellom de tre sektorene kraft, varme og transport er oppsummert i figur 4.4.



Figur 4.4 Et tettere samspill mellom kraftsektoren og varme- og transportsektoren

Alle formene for fleksibilitet vil normalt være forbundet med visse kostnader og ulemper, og ofte trengs det investeringer for at det skal bli mulig å utnytte fleksibiliteten. I de fleste tilfeller er det nødvendig med både tekniske styringssystemer (IKT) og økonomiske incentiver. Effektive markeder med priser som speiler verdien av kraft når det er knapphet og når det er overskudd av kraft, er viktig for å realisere en effektiv utnyttelse av de ulike mulighetene. Det er også behov for teknologiutvikling på mange områder. I tillegg er det nødvendig å utvikle en felles forståelse av hvordan ombyggingen til et utslippsfritt og robust energisystem kan skje.

For de som skal gjøre langsiktige investeringsbeslutningene, er det viktig å ha mest mulig kunnskap om sannsynlige utviklingstrekk og muligheter.

4.3 Usikkerhet skaper utfordringer

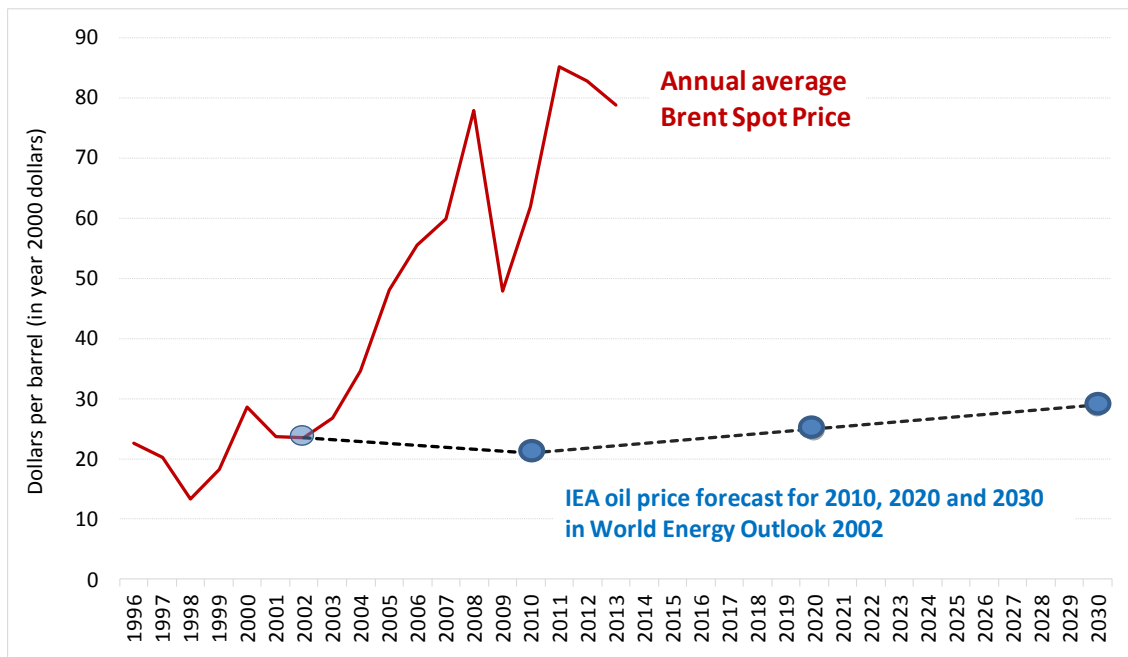
Markedsaktørene er eksponert for en betydelig politisk og regulatorisk risiko: Vil politikerne virkelig følge opp de langsiktige klimamålene? Hva slags virkemidler vil de anvende? Og hva slags løsninger vil myndighetene akseptere eller støtte? Blir for eksempel kjernekraft akseptert i fremtiden?

I tillegg til den regulatoriske og politiske risikoen er det betydelig usikkerhet om hvordan energiteknologier, brenselspriser og etterspørselen etter energi vil utvikle seg. Som vi så i kapittel 4.1 har det skjedd dramatiske endringer i kostnadene for en del teknologier. Ser vi 15 år tilbake i tid blir vi også minnet om at brenselsprisene har endret seg radikalt. Evnen til å forutse utviklingen har vært begrenset, også blant fagfolk. I 1998 og 1999 var oljeprisen lav (se figuren nedenfor). *The Economist* skrev i 1999 at markedet drukner i olje og at prisene skulle forbli lave. Figur 4.5 sammenlikner IEAs langsiktige prisforventninger fra 2002 med faktisk prisutvikling til og med 2013. IEA klarte ikke å forutse den dramatiske prisøkningen som kom like etter, og



4. Mars 1999

forventet faktisk en viss nedgang i oljeprisen fra 2002 til 2010. IEA var på ingen måte alene om denne vurderingen i 2002.



Figur 4.5 IEAs langsiktige prognose for oljeprisen i World Energy Outlook 2002 versus faktisk utvikling i årlig gjennomsnittspris Brent Spot (alt er i år 2000 dollar)

IEA har også radikalt undervurdert den globale veksten i fornybar energi, men var for optimistiske angående kostnadsutviklingen for CCS. Selv optimistiske eksperter innen solcelleindustrien har blitt overrasket over det store prisfallet på solpaneler, og svært mange – også innen olje- og gassindustrien – har blitt overrasket over revolusjonen innen utvinning av skifergass og skiferolje. I EU har kvoteprisene for CO₂ falt dramatisk fra 2009 og blitt kun en brøkdel av det markedet og myndighetene forventet. I dette tilfellet er forklaringen først og fremst at tilbudet av kvoter er gitt på kort sikt (uelastisk) mens utslippene ble mye lavere enn forventet, bl.a. på grunn av den økonomiske krisen. Disse eksemplene er en påminnelse om usikkerheten i utviklingen av teknologi, råvarepriser og etterspørsel, og illustrerer hvor vanskelig det er å spå om fremtiden, også for eksperter.

Gjennomgangen foran og i Vedlegg 2 viser at det er svært mange ulike teknologier som kan bidra til å skape en robust og utslippsfri energisektor. Ambisiøs satsing på FoU og utbygging av umodne løsninger kan få kostnadene mye ned for en rekke teknologier, slik vi allerede har sett eksempler på. Men det er veldig vanskelig å vite hvor store kostnadsfall vi kan oppleve for de ulike teknologiene. *Lønnsomheten av hver enkelt teknologi vil være svært avhengig av hvilke andre løsninger som blir utviklet, og hvordan energisystemet blir regulert.* Denne usikkerheten er en utfordring for dem som skal investere i FoU for nye løsninger, og for dem som skal ta stilling til investeringer i infrastruktur som kraftverk, overføringslinjer, fjernvarme, energiløsninger i bygninger og transportløsninger. Det er viktig at investeringsbeslutningene tar hensyn til usikkerheten. Samtidig er det viktig at myndighetene og markedsaktørene ikke blir handlingslammet av usikkerheten.

Dette gir grunnlag for to overordnede anbefalinger:

1. *Bedre kunnskap om sannsynlige utviklingstrekk muliggjør bedre FoU-strategier og bedre investeringsbeslutninger.* Både markedsaktører og myndigheter bør ha et best mulig kunnskapsgrunnlag om sannsynlige og mulige utviklingstrekk. Kunnskapene må bygge på innsikt i teknologiske muligheter og konsistente scenario for hvordan energisystemet kan utvikles, gitt ulike forutsetninger. Tidlig forskning og utprøving av nye teknologier og løsninger kan gi viktig kunnskap om hvilke muligheter som lettest kan utvikles og hva som kan bli mer krevende og dyrt. Spesielt er det viktig å få til raske avklaringer av muligheter på områder hvor en slik avklaring koster lite og kan ha stor betydning for langsiktige investeringsbeslutninger og prioriteringer innen FoU. Et eksempel kan være kartlegging av potensialet for og kostnader ved utnyttelse av fleksibiliteten i varmesystemet.
2. *Myndighetene må våge å gi en klar retning for utviklingen og etablere rammevilkår som får markedsaktørene til å handle i tråd med dette.* Usikkerhet gir risiko for feilinvesteringer. Denne risikoen kan lede til handlingslammelse. Man kan oppleve at alle venter på alle. Myndighetene må utforme virkemidler som forebygger en slik handlingslammelse, og bidra til at investeringsbeslutningene blir så gode som mulig. Det å utvikle et bærekraftig energisystem betyr å *bygge om energisystemet*, ved å skifte ut ulike komponenter i en hensiktsmessig rekkefølge, ut fra den beste kunnskapen vi til enhver tid har.

VI TRENGER BREDE LÆREPROSESSER

Hvis vi skal lykkes med klimapolitikken trenger vi en bred, ambisiøs og langsiktig satsing for å utvikle nye løsninger. Vi trenger en strategi for å fremme læreprosessene, og vi må ta hensyn til verdien av læring og teknologiutvikling når vi vurderer virkemidler og hvilke tiltak vi skal støtte.

Karbonprising kan bli et viktig virkemiddel for å fremme langsiktig omstilling, men vil ikke være tilstrekkelig til å utvikle nye løsninger så raskt og effektivt som vi trenger. Det skyldes bl.a. at karbonprising ikke er et treffsikkert virkemiddel for å fremme utvikling av umodne teknologier.

Samfunn som går foran i utviklingen, bidrar til viktig læring om hvordan en omstilling til et samfunn med lave utslipp best kan organiseres. Ved sitt eksempel kan slike pionersamfunn også være en inspirasjonskilde for andre land. Fremgang starter ved at noen går frem.

5.1 Lærekurver reflekterer kunnskapsutvikling og skalafordeler

Lærekurvene (se forklaringen i kapittel 4.1) beskriver sammenhengen mellom *akkumulert* utbygging/produksjon over tid og *fall i enhetskostnaden*. Kostnadsreduksjonen som registreres skyldes både genuin læring/teknologiutvikling og skalafordeler (at større produksjon gir lavere kostnader). Konseptuelt er skillet mellom læring og skalafordeler klart, bl.a. ved at skalafordelene vil forsvinne om man nedskalerer produksjonen. Empirisk kan det imidlertid i en del tilfeller være vanskeligere å skille mellom de to faktorene. Ved oppskalering av produksjonen vil det for eksempel ofte skje mye uformell læring mht. hvordan en produksjonsprosess best kan organiseres.

I noen tilfeller vil også grunnforskning og teknologiutvikling på andre områder bidra til kostnadskutt. Utviklingen i IKT og materialteknologi kan bl.a. bidra til nye løsninger på mange områder. For eksempel har IKT gjort automatisering og fjernstyring mulig for mindre vannkraftverk. Det har senket driftskostnadene vesentlig.

5.1.1 Forskning, utvikling og "learning by doing"

Innovasjon skapes både ved utvikling av radikalt nye løsninger og ved mange små forbedringer. Ofte vil fundamentalt nye løsninger bygge på langsiktig forskning.

Mariana Mazzucato har i boka *The Entrepreneurial State* (Mazzucato, 2013a) beskrevet hvor viktig offentlig finansierte langsiktig forskning har vært for utvikling av radikale nye løsninger.²³ Hun viser for eksempel til at alle de viktige teknologiene som gjør en iPhone mulig, som mikroprosessen, lithium-ionbatterier, internett, GPS og berøringsskjerm, ble utviklet i offentlig finansierte forskningsprogrammer. Mazzucato dokumenterer på en overbevisende måte at offentlig finansierte forskningsprogrammer har vært det viktigste lokomotivet for store innovasjoner. *Næringslivet har ofte for kort tidshorison og for høye avkastningskrav til å løfte de store teknologiske innovasjonene.*²⁴ (Se mer om dette i 5.3.1.) I USA har mye av den langsiktige teknologiske forskningen vært knyttet til romfart og forsvarsindustri. Mazzucato gjør også et poeng av at man trenger en sterkt og kompetent offentlig forskningssektor som kan styre innovasjonen i den ønskede retningen, og at dette faktisk i stor grad har vært tilfelle i USA. Hun mener også at en grønn revolusjon er avhengig av proaktive myndigheter som etablerer gode og langsiktige rammevilkår for utvikling av nye løsninger, slik man tidligere har hatt i USA for utvikling av løsninger til forsvar og romfart.

Offentlig sektors rolle er ikke begrenset til å finansiere dristige og langsiktige forskningsprogrammer. Støtte til FoU som kan gi mange mindre forbedringer er også viktig. Mange slike forbedringer i hele verdikjeden kan over tid gi store fremskritt. Denne typen forskning og utvikling vil ofte være *nært knyttet til eksisterende produkter eller markeder* og gi forbedringer i et samspill mellom FoU og produksjonen i bedriftene. *Eksisterende markeder gir en arena for å teste ut nye løsninger, høste erfaringer og identifisere ytterligere muligheter for forbedring.*

Ved å støtte demonstrasjons- og testprogrammer og ved å *etablere* markeder for nye løsninger, kan myndighetene stimulere til raskere og mer omfattende innovasjon. Ved en gradvis utrulling av nye løsninger som ennå ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomme (slik det for eksempel har skjedd med vindkraft de siste 35 årene), oppnår man flere gunstige virkninger:

- *Praktisk erfaring stimulerer nytenkning.* Ved utbygging blir løsninger testet og man vinner erfaringer med hva som fungerer og ikke fungerer. Man oppdager utfordringer og muligheter og starter en prosess med mange små og store forbedringer. Dette vil også omfatte underleverandører og potensielle leverandører som identifiserer forretningsmuligheter knyttet til de nye markedene.
- *Problemet med manglende langsiktighet i næringslivet reduseres.* Mens næringslivet sjelden har utholdenhet til å utvikle løsninger som først kan gi inntekter om 20 – 30 år, kan etableringen av et marked for nye løsninger (for eksempel et program for utbygging av vindkraft), stimulere til aktiv innovasjon. I slike tilfeller er det mye kortere vei fra idé til implementering, og det er lettere å finne noen som vil bidra til å finansiere de industrielle sidene av innovasjonen. (I tillegg til problemer med kortsiktighet, er det også et problem at de som utvikler nye løsninger kun høster en del av gevinsten. Se mer om dette i kapittel 5.2.)

²³ [Mazzucato \(2013b\) gir et 14 minutters foredrag med introduksjon til tenkningen.](#)

²⁴ Avkastningskravet sier hvor mange prosent årlig avkastning en investor må forvente før han er villig til å investere.

Når underleverandørene forventer økt og *varig* etterspørsel fra en ny sektor, får de incentiv til å investere i produksjonsanlegg og innovasjon. Dette gir både kvalitetsforbedringer for produktene og kostnadsreduksjoner. Utbygging av vindkraft har for eksempel stimulert kompetanse om optimal plassering av vindturbiner i terrenget for å utnytte vinden best mulig, til bedre turbiner og til IT-systemer som optimaliserer kraftproduksjonen i forhold til variabel vind.

”Learning by doing” handler både om teknologiske fremskritt og økte ferdigheter hos medarbeidere, som for eksempel at de som monterer vannbåren varme og varmepumper, eller de som monterer solcelleanlegg, lærer å gjøre arbeidet raskere og med færre feil.

Lærekurver fokuserer på sammenhengen mellom *volum og kostnad*, men det er grunn til å anta at også *tid til å innhente erfaringer* spiller en viktig rolle. Det tar tid å se hva som fungerer godt og mange praktiske svakheter ved design blir først avdekket etter en del års drift. Dette er et argument for å få denne typen læreprosesser i gang raskt, samtidig som produksjonsvolumet ikke bør økes for mye før man har fått testet bruksegenskapene over tid. Det er bedre å oppdage viktige svakheter i en konstruksjon før volumene og kostnadene er skalert altfor mye opp.

5.1.2 Skalagevinster

Læringseffekten er ikke den eneste grunnen til at større produksjonsvolum ofte gir betydelig lavere kostnader:

- Større serier gir ofte *bedre utnyttelse av produksjonsutstyret* og dermed bedre lønnsomhet. Stor skala kan for eksempel gjøre det lønnsomt å investere i effektive produksjonslinjer med samlebånd og/eller roboter som en del av produksjonen. Små serier rettferdiggjør ofte ikke slike investeringer. Tesla skal bygge en batterifabrikk som vil doble den globale produksjonskapasiteten. Det forventes at dette minst vil gi en kostnadsreduksjon på 30 %. Slike investeringer er kun mulig når etterspørselen er stor.
- En beslektet effekt er at større utbredelse av et produkt i mange tilfeller gir *bedre utnyttelse av infrastruktur* som støtter bruken av produktet. Det har større verdi å eie en telefon når også vennene dine har telefon. Bensin- og dieserbiler kan utnyttes effektivt og har høy verdi for forbrukerne fordi det finnes et stort veinett og et stort nett av bensinstasjoner og serviceanlegg som sikrer driften. Utbyggingen av dette servicesystemet er økonomisk mulig fordi mange har bil. Hvis kjøretøy basert på hydrogen skal kunne få stor utbredelse og aksjonsradius, må det bygges opp et tilstrekkelig antall stasjoner for fylling av hydrogen og det må finnes servicemuligheter. Tilsvarende må det bygges ut stasjoner for hurtiglading av strøm til elbiler, hvis elbilene skal kunne erstatte en gammeldags bil på alle bruksområder. Først når antallet elbiler blir stort, vil denne infrastrukturen bli effektivt utnyttet. Andre eksempler er spesialfartøy for montering og vedlikehold av offshore vindturbiner og behovet for stor omsetning av LED-lys slik at man kan ha et stort utvalg av fargenyanser og lysstyrker, og slik at det blir et lønnsomt marked for armaturer og annet tilbehør. (Disse sammenhengene kalles ofte nettverkseksternaliteter.)
- Når et produkt får stor markedsandel, kan det også bli integrert i standardiserte løsninger, og dermed bli billigere. Aktuelle eksempler kan være at løsninger for vannbåren varme, solvarme eller solceller blir innbygd i prefabrikkerte

bygningselementer. Dette kan forenkle montering og senke kostnadene ytterligere.

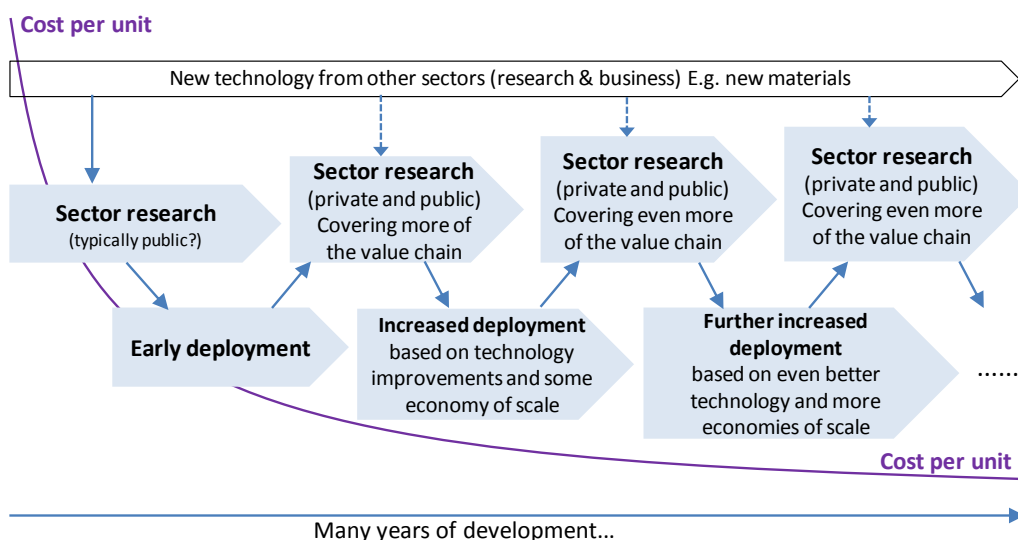
- Det er en del *faste kostnader knyttet til å starte nye produksjonsserier*. For eksempel kan det koste mange milliarder å utvikle en ny bilmodell (et nytt konsept). Store serier gjør at disse kostnadene kan fordeles på mange biler.
- *Billigere innkjøp*. Også produksjon, innkjøp og transport av materialer og komponenter som brukes i produksjonen av varen blir ofte billigere når ordrene er store. Logistikk rundt leveranser, oppfølging av kunder og systemer for informasjon, kan også bli billigere per enhet når man har store volumer.
- Et større marked kan også gi plass til flere uavhengige leverandører og dermed *økt konkurranse*. Det kan bidra til lavere kostnader.

I Tyskland har de totale kostnadene ved å investere i solcellepanel vært under det halve av kostnadene i USA. Dette skyldes i hovedsak forskjeller i såkalte "soft costs", som bl.a. omfatter montering, kjøp og godkjenning. En mye større omsetning i Tyskland har bidratt til å få disse kostnadene ned ([Rocky Mountain Institute, 2013](#)).

Som nevnt foran reflekterer lærekurver både skalafordeler og læring i alle deler av verdikjeden, og dessuten teknologiutvikling på andre områder. Økt produksjon av en vare bidrar både til en viktig del av læringen og til skalafordeler. Det kan være ulike oppfatninger om hvor viktig økt produksjon er for å få ned kostnadene sammenliknet med økt forskningsinnsats, og svaret kan variere fra tilfelle til tilfelle. Sannsynligvis er begge deler viktig hvis man skal oppnå radikale kostnadsfall. Det er også viktig å huske at eksistensen av et marked av en viss størrelse – nå og i fremtiden - er en viktig motivasjonsfaktor for forskningsinnsats og innovasjon i de berørte næringene. Å bruke forskningspenger på noe det *kanskje* blir behov for en gang i fremtiden, er mindre motiverende.

[Philibert \(2011\)](#) drøfter i et Working Paper utgitt av IEA faktorene bak kostnadsfallet for solpaneler og konkluderer: *"Increased deployment has thus been, through various channels, the most important driver for cost reductions"*.

Figur 5.1 illustrerer hvordan ulike faktorer kan samspille i utviklingen av en ny teknologi.



Figur 5.1 Positivt samspill mellom forskning, skalafordeler og økt utbygging

5.2 Pionerene får kun litt av gevinsten

Der patentering er mulig vil eierne høste en andel av den samfunnsmessige gevinsten i den perioden patentrettighetene varer (typisk 20 år). Når patentbeskyttelsen utløper kan alle bruke patentet uten å betale. Det er mye læring som ikke kan patenteres.

5.2.1 Utviklerne får en andel av verdien i patentperioden

Patentbeskyttelse er en viktig drivkraft for innovasjon, ved at utviklerne får enerett til å tjene penger på en innovasjon i en begrenset periode (vanligvis i 20 år). Etter denne perioden er det fritt fram for andre å kopiere løsningen uten å betale vederlag til utviklerne.

Mens patentbeskyttelsen gjelder vil utvikleren få en andel av den samfunnsmessige nytten, men ikke hele. For at noen skal være villig til å betale for en ny løsning må de oppleve det som lønnsomt, dvs. at verdien som den nye løsningen har for dem er høyere enn prisen de betaler. Ulike kjøpere har ulik nytte av et nytt produkt. Den minst interesserte (eller marginale) kjøperen vil vurdere nytten som tilnærmet lik prisen, mens mer interesserte kjøpere vil ha en nytte som er høyere enn prisen. Noen kan være villig til å betale det mangedobbelte av prisen. (Økonomer kaller gjerne den ekstra betalingsviljen *konsumentoverskudd*.)

Hvor store inntekter patenteier kan oppnå i patentperioden vil avhenge av de konkrete markedsforholdene, og eventuelle muligheter til å diskriminere mellom brukere med ulik betalingsvilje.

I tillegg til momentene over vil også ulovlig kopiering (brudd på patentbeskyttelsen) bidra til en nytte som ikke tilfaller utviklerne.

For at patenteier skal tjene penger på løsningen, må han innkreve en betaling som kan begrense bruken av patentet. Den ideelle løsningen ville vært å ha sterke incentiver til å utvikle nye løsninger samtidig som alle kan bruke løsningen kostnadsfritt. Det kan man oppnå hvis noen (for eksempel rike land) kjøper viktige patenter og gir alle rett til å bruke dem og bygge videre på dem. Teslas beslutning om å gjøre mange patenter gratis tilgjengelig er et interessant grep for å stimulere en hel industri.

5.2.2 Mye av nytten kan komme etter patentperioden

Siden global oppvarming er en svært langsiktig utfordring, kan nytten for verdenssamfunnet av en forbedret løsning være viktig i svært mange år etter at et patent har utløpt. Ofte vil kostnadene ved et nytt produkt falle over flere tiår og føre til at produktet blir mer og mer utbredt. I slike tilfeller kan en svært høy andel av nytten komme etter at patentperioden er utløpt.

Bedrifter som vurderer å utvikle nye løsninger vil neppe legge mye vekt på denne verdien, eller på nytten som tilfaller andre mens patentbeskyttelsen gjelder.

Et regnestykke kan illustrere poenget:

Anta at et patent gir opphav til en konstant nytte hvert år i 50 år og at patentrettigheten gir eieren 60 % av nytten i de 20 årene med patentbeskyttelse. I de neste 30 årene tilfaller hele nytten verdenssamfunnet. I absolutte termer får patenteieren da 24 % av nytten. Men siden hans nytte kommer i de første 20 årene, blir hans andel av total nåverdi en del større. Med 4 % avkastningskrav (reelt) blir

nåverdien for patentholderen 38 % av den globale samfunnsmessige nåverdien av innovasjonen (sett over 50 år).

Hvis inntektsstrømmen stiger utover i tid fordi alternativene blir dyrere (for eksempel pga. høyere karbonpris) eller fordi produktet selges i stadig større volumer, kan den relative andelen som tilfaller utvikleren bli lavere. Hvis den globale nytten for eksempel stiger 4 % per år på grunn av økende utbredelse, vil utviklerens andel av total nytte kun være 24 %.

5.2.3 Mange typer læring kan ikke patenteres

Generelle ideer kan være vanskelig å patentere. (Et eksempel er smarttelefonen som konsept.) Også uformell læring som oppstår i bedrifter kan være vanskelig å patentere. Uformell kunnskap kan observeres av andre og kopieres eller den kan bli spredt av medarbeidere som tar med seg kompetansen til andre miljøer. En bedrifts løsninger kan også gi inspirasjon til nye og *bedre* løsninger i andre bedrifter. Vi kan snakke om *learning-by-watching*.

De som jobber med utvikling og utprøving av nye løsninger vil også oppdage en rekke løsninger som *ikke* fungerer godt. (For eksempel en del mislykkede konsepter for bølgekraft.) Andre vil kunne lære av pionerens tabber ved å unngå samme feil, og eventuelt bli inspirert til å finne bedre løsninger og følge andre teknologispør. Observasjoner av hva som *ikke* fungerer er en viktig lærdom, den sparer andre for å gjøre samme feil igjen, men gir lite inntekter til den som gjør oppdagelsen. Alle som utvikler nye løsninger må regne med at en del spor ikke leder til brukbare resultater.

For noen av faktorene bak skalagevinster (jamfør 5.1.2) er det også slik at de som stimulerer den første utviklingen gjør det lettere for andre å komme etter. Der hvor forbrukerne trenger tilvenning til et nytt produkt for å bli trygge på det, og der hvor det må bygges opp infrastruktur for å betjene en ny type produkt, kan leverandører som kommer senere nyte godt av at noen har gått foran og beredt grunnen.

Ved utbygging av fornybar energi (og de fleste andre utbygginger) følger det ofte en del miljøulemper, både ulemper for mennesker (visuelt og støy) og negative effekter for biodiversiteten. Erfaring med utbygginger og forskning på virkningene av ulike tiltak, kan redusere konflikter mellom utbygging (klima og energi) og miljø. Denne typen kunnskap er viktig for å begrense de totale samfunnsmessige kostnadene og ulempene ved fornybar energi. Samtidig vil det ofte være vanskelig å patentere slik kunnskap, og i mange tilfeller heller ikke ønskelig.²⁵

5.2.4 Mer kunnskap om hva som er mulig og umulig gir bedre investeringer

Innsats for å få ned kostnadene gjennom læreprosesser og ved oppskalering av produksjon *utvikler og avdekker* valgmulighetene for fremtidig klima- og energipolitikk. Dette har verdi på to måter: For det første har det selvsagt verdi at man har tilgang til bedre løsninger. For det andre har en tidlig utvikling av løsninger verdi for langsiktig planlegging. *Tidlig uttesting av ulike løsninger i noen land gir myndigheter og markedsaktører i alle land bedre informasjon om fremtidige muligheter og sannsynlige kostnader ved ulike løsninger.*

²⁵ Det norske forskningscenteret CEDREN (FME) har et omfattende program med slik forskning. Se <http://cedren.no/>

Denne typen informasjon har stor verdi for langsiktige investeringsbeslutninger i energi, bygg og annen infrastruktur. Mange anlegg som bygges i dag vil også være i bruk i 2040 og 2050. Lønnsomheten av ulike løsninger påvirkes ofte i betydelig grad av hvordan konkurrerende løsninger utvikles. Selv om fremtiden alltid er usikker og det kan komme nye løsninger som ingen har forutsett, kan dagens løsninger vanligvis ikke "avoppsfinnes": Solcelleproduksjon *har* blitt så avansert og effektiv som den er, vindkraft på land *har* blitt kommersielt konkurransedyktig i noen markeder, det *har* skjedd og skjer en revolusjon i batteriteknologi for elbiler og det er nå mulig å se at dette kan få store konsekvenser for markedene. Når slik kunnskap blir tilgjengelig vil enhver klok investor ta hensyn til den i sine beslutninger, for å redusere risikoen for feilinvesteringer. Dette gjelder også for investeringer i FoU hvor kunnskap om hva andre har fått til, gjør det mulig å styre FoU-investeringene i en bedre retning.

Det at noen tidlig utvikler nye teknologier og demonstrerer kostnadsfall, kan altså gi en økonomisk gevinst også for dem som (ennå) ikke har tenkt å ta disse løsningene i bruk.

Det tar tid å bygge opp verdikjeder, det tar tid å høste de nødvendige erfaringene, og det tar tid å gjennomføre de omfattende kreative prosessene med mange små og store innovasjoner som ofte trengs for å bringe fram en ny totalløsning. Man kan fra tid til annen høre argumenter om at nå bør man konsentrere seg om de billige tiltakene, som for eksempel å skifte fra kullkraft til gasskraft, og senere når alle land blir med og karbonprisen blir høy, skal man ta fatt på de kostbare tiltakene. Ja, vi bør gjøre de billige tiltakene nå, men vi trenger også å utvikle de løsningene som kan ta oss til målet, *fordi utviklingen av disse løsningene krever lang tid*. Vi vet ikke på forhånd hvor lang tid det tar og vi vet ikke hva som vil lykkes best. Dessuten har det - som vi har sett - stor verdi for mange investeringsbeslutninger som gjøres i dag, å vite hvilke muligheter som sannsynligvis vil være tilgjengelig om en del år. En tidlig start på læreprosessen gir oss en del av denne kunnskapen. Når enkelte land går i spissen for å utvikle teknologier og mer omfattende systemløsninger, gjør de planleggingen lettere for andre.

Mange produkter og løsninger vil ha global anvendelse. Både selskap som utvikler innovative løsninger og land som finansier FoU kan oppleve at andre høster vel så mye av gevinsten som de selv gjør. Når de som utvikler ny kunnskap og bidrar til lavere kostnader kun høster en liten del av gevinsten, vil det i et globalt perspektiv bli satset for lite. I hovedsak vil man kun gjennomføre prosjekter hvor utviklerne (eller landene som støtter utviklingen) forventer at *deres egen nytte* er større enn kostnadene. Dette er en sentral utfordring i klimapolitikken.

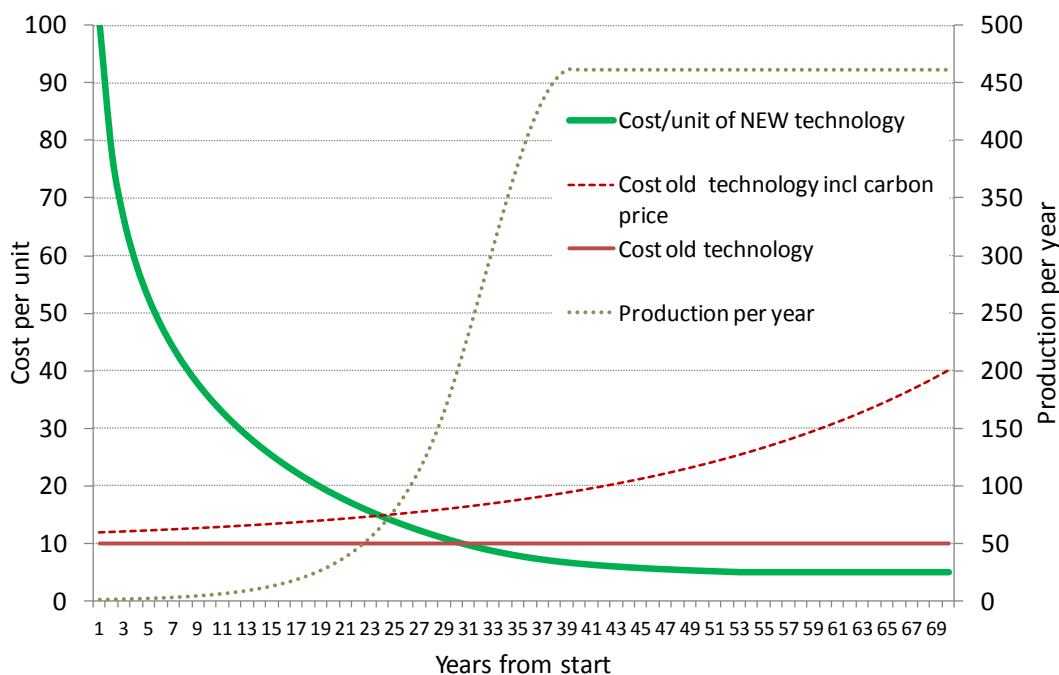
5.3 Et enormt gevinstpotensial - langt fram i tid

Jeg skal her illustrere økonomiske sammenhenger ved lærekurver med et idealisert eksempel. Vi tenker oss en umoden utslippsfri teknologi hvor produksjon av den første enheten koster 100, mens det etablerte og klimaskadelige alternativet kun koster 10 per enhet²⁶. (Vi antar at de to alternativene er perfekte substitutter.) I

²⁶ Siden det er *forskjellen* i kostnader mellom de to alternativene som betyr noe, har jeg valgt å holde kostnaden ved det gamle alternativet konstant. Også denne løsningen kan bli bedre og billigere, men det er mindre grunn

tillegg legger vi til en karbonkostnad på det klimaskadelige produktet. Karbonprisen starter i eksemplet på 2 og stiger 4 % hvert år over hele tidshorizonten. Jeg skal drøfte situasjonen både med og uten denne karbonprisen.

Vi antar en læringsrate på 20 %, dvs. at hver dobling av akkumulert produksjon for det nye produktet gir 20 % lavere enhetskostnader. Vi antar også at kostnadene ved den nye teknologien ikke kan bli lavere enn 5. Videre antar vi at produksjonen vokser med 20 % per år inntil den etter 39 år stabiliserer seg med en årlig produksjon på 460 enheter. Med disse antakelsene får vi en kostnadsreduksjon over tid omtrent som den vi har observert for vindkraft på land de siste 30 årene. Figur 5.2 viser hva som skjer med produksjon, enhetskostnader og karbonprisen over en periode på 70 år.

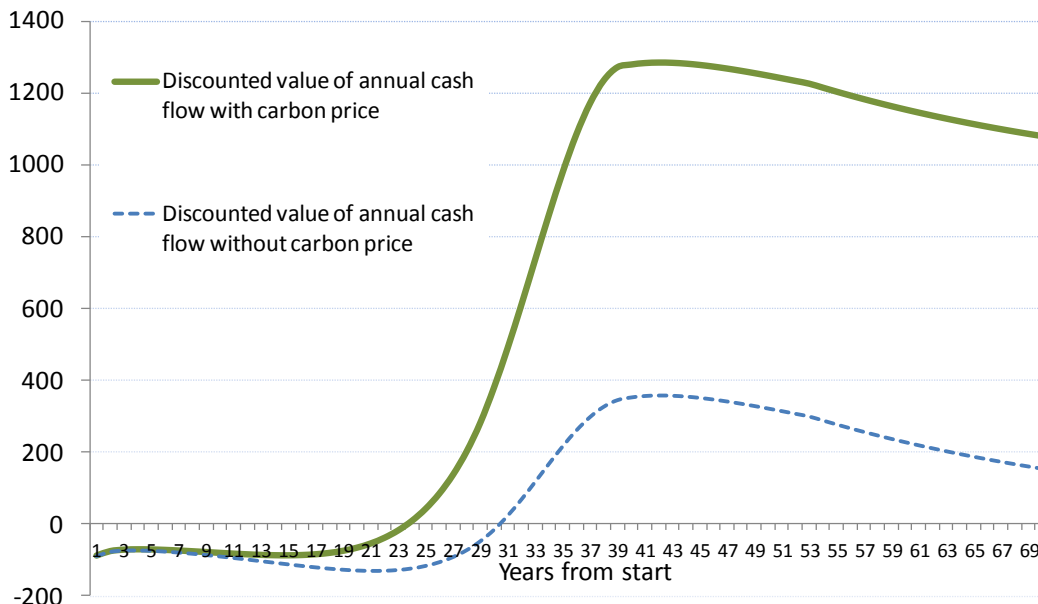


Figur 5.2 Utviklingen i produksjon og avledet kostnadsutvikling ved læringsrate på 20 %

Med de valgte forutsetningene er den nye teknologien dyrere enn den konvensjonelle (uten karbonpris) i hele 30 år. Tar man hensyn til karbonprisen som er lav i starten, er den nye teknologien dyrere enn den gamle i 23 år. Selv om det her tar *lang tid* før den nye teknologien fremstår som markedsmessig lønnsom, kan utviklingen av denne teknologien gi stor lønnsomhet i et globalt perspektiv, og kanskje også for et enkelt land. Den høye lønnsomheten på lang sikt skyldes at volumene som produseres de første årene er små sammenliknet med de volumene som produseres senere. Når markedspotensialet er stort, kan nåverdien av sparte fremtidige kostnader bli meget stor. I figur 5.3 viser jeg kontantstrøm år for år (netto

til å forvente dette siden det er snakk om en moden teknologi. Kostnaden ved det gamle alternativet kan også stige over tid, slik vi har sett for fossilt brensel som har blitt mye dyrere siden år 2000 fordi man må ta i bruk dyrere felt. Kostnadene ved lokal forurensning fra fossilt brensel kan også bli (vurdert) høyere etter hvert som folk blir rikere.

utgift eller netto inntekt) diskontert til år 1 med et avkastningskrav på 4 % (reelt).²⁷ Kontantstrømmen er gitt ved kostnadsforskjellen mellom de to teknologiene multiplisert med produsert volum. Kontantstrømmen er diskontert med 4 % per år for at man skal kunne lese av figuren hvor mye de fremtidige utgiftene og inntektene vil bli vektet i en nåverdiberegning med et avkastningskrav på 4 %.



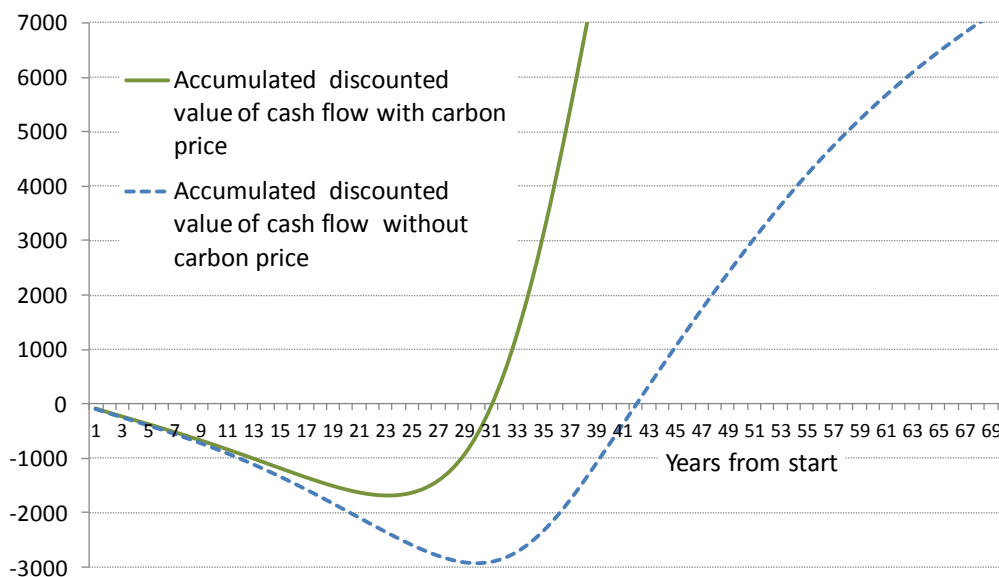
Figur 5.3 Fremtidig kontantstrøm diskontert med 4 % p.a. Med og uten karbonprising

Med karbonprisingen (jamfør figur 5.2) blir den nye teknologien raskere konkurransedyktig, og inntektene på lang sikt blir vesentlig større. Når kontantstrømmen etter hvert blir positiv og stiger, skyldes det at fallende kostnader for ny teknologi gir økt inntekt per produsert enhet og at antall enheter øker. I tilfellet med karbonprising forsterkes denne effekten av at stigende karbonpris også gjør det forurensende alternativet dyrere etter hvert. Som man kan se av figuren, faller kurvene igjen etter en del år. Dette skyldes først og fremst at produksjonsvolumet og prisforskjellen (uten karbonpris) stabiliseres i dette eksemplet, samtidig som diskontering gir mindre vekt til inntekter som kommer senere.

Man kan se av figur 5.3 at også uten klimaproblemet (karbonpris lik null) vil den nye teknologien være samfunnsøkonomisk lønnsom i et globalt perspektiv, siden nåverdien av nettoinntektene etter år 30 er større enn nåverdien av nettokostnadene fram til dette tidspunktet. Men man må ha et langt tidsperspektiv for å identifisere denne lønnsomheten.

I figur 5.4 er nåverdien av inntektsstrømmen i figur 5.3 akkumulert. (År 3 = år 1 + år 2 + år 3, osv.). Da ser man hvor lang tidshorisont som trengs for å få en positiv netto nåverdi av tiltaket.

²⁷ Å diskontere betyr her å nedjustere fremtidige utgifter og kostnader ut fra avkastningskravet. Med et avkastningskrav på 4 % vil en inntekt på 100 som kommer om ett år i dag bli verdsatt til $100/1,04$ (=96,154) i dag. En inntekt på 100 om to år vil bli verdsatt til $100/1,04^2$ (=92,456) osv.



Figur 5.4 Akkumulert kontantstrøm diskontert med 4 % p.a. med og uten karbonprising

Vi ser av figur 5.4 at med karbonprisingen blir nåverdien positiv hvis vi har en analysehorisont på mer enn 31 år. Uten karbonprisingen må vi ha en analysehorisont på mer enn 42 år. I begge tilfelle blir nåverdien veldig stor hvis vi har et 70-års perspektiv. Med andre parameterverdier kunne vi funnet at teknologiutviklingen kun var lønnsom med karbonprising, eller at den heller ikke var lønnsom i det tilfellet. Sammenliknet med den kostnadsutviklingen man har observert for en rekke teknologier er imidlertid ikke tallene i eksemplet urimelige. Det er ikke usannsynlig at utviklingen av solceller, vindkraft og en rekke andre teknologier på lang sikt vil bli svært lønnsomme for verdenssamfunnet, også hvis man ignorerer klima- og miljøgevinstene disse teknologiene gir. Det er også verdt å merke seg at taket for fremtidig produksjon i dette regneeksemplet er satt relativt lavt, til 460 ganger produksjonen det første året. Hvis man har en større ekspansjon når kostnadene for den nye løsningen blir lavere enn det gamle alternativet, vil dette gi større inntekter og høyere lønnsomhet ved utviklingen av den nye løsningen.

Regneeksemplet i figurene over viser hvor lang tidshorisont det kan være nødvendig å ha for at man skal identifisere lønnsomhet i innfasingen av en ny teknologi. I regneeksemplet har vi sett på global nytte. Når utviklerne kun høster en begrenset del av denne nytten vil naturligvis viljen til å satse være mer begrenset. Høye avkastningskrav i private bedrifter og stor usikkerhet om fremtidig klimapolitikk kan ytterligere redusere viljen til å satse.

Den lange tidshorisonten man ofte trenger for å modne nye løsninger betyr at vi trenger offentlig satsing (som Mazzucato påpeker – jamfør 5.1.1) og virkemidler som stimulerer næringslivet til langsiktig utvikling. Man må håndtere utfordringer knyttet til usikkerhet om fremtidig klimapolitikk og at bedrifter ofte har en kort tidshorisont for sine beslutninger, og dessuten høye avkastningskrav. Vi ser nærmere på denne problemstillingen i kapittel 5.5.

5.4 *Hvordan kan vi begrense utviklingskostnadene?*

5.4.1 *Noen steder er bedre egnet for tidlig utbygging av nye løsninger*

Modning av en ny teknologi (jamfør regneksemplet i kapittel 5.3) har en netto kostnad i startfasen fordi kostnadene ved det nye alternativet da er høyere enn ved billigste etablerte produksjonsmåte. Utviklingskostnadene kan gjøres lavere hvis vi kan finne områder hvor den nye teknologien er billigere å ta i bruk og/eller områder hvor den har større verdi fordi alternativene er dyrere.

La oss ta sol- og vindkraft som eksempler:

- *Kostnadene* ved utbygging og drift kan variere noe mellom ulike steder, men først og fremst vil *kostnaden per produsert kWh* være ulike fordi ressursgrunnlaget varierer. Vindkraften blir billigere på steder med mye og gjerne jevn vind. Tilsvarende blir kostnadene ved solkraft lavere der solforholdene er gode.
- *Verdien av kraften* som leveres fra sol- og vindkraft vil avhenge av kostnadene ved alternativ kraftproduksjon (markedet). Noen områder har av ulike grunner høyere kraftkostnader.

Solceller ble tidlig brukt i romfart fordi alternativene er svært dyre og delvis ikke finnes. Solceller ble etter hvert brukt til strømforsyning på øde steder uten tilknytning til kraftnettet. Også her er alternativene svært kostbare.

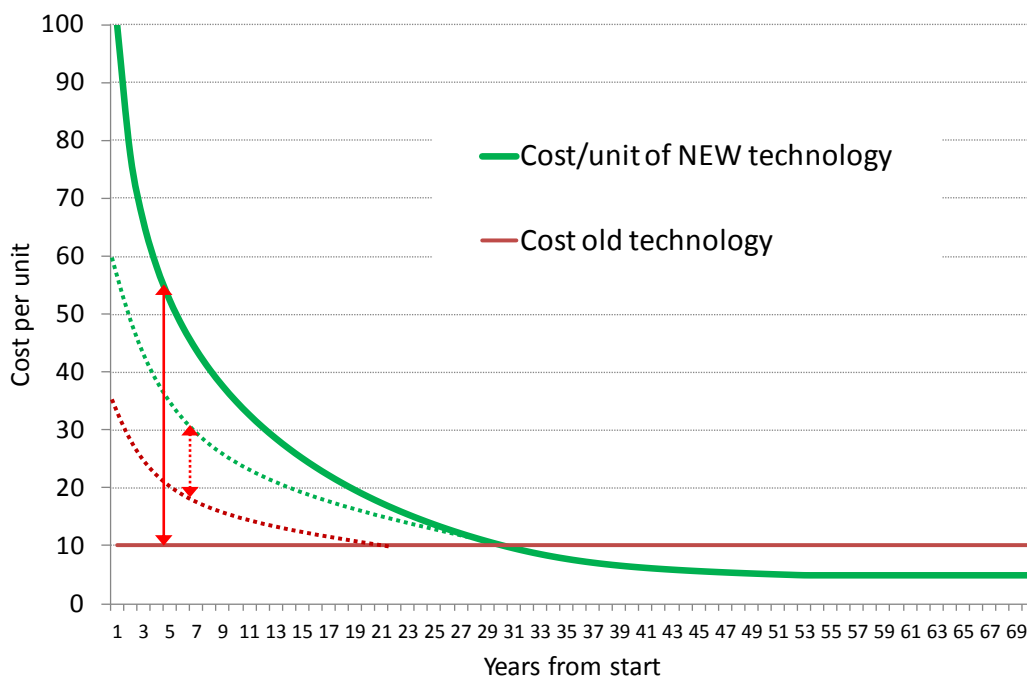
For ordinære forbruksvarer, som for eksempel ny forbrukerelektronikk, vil grupper med høy betalingsvilje (såkalte "early adapters") ha en viktig rolle i starten ved å kjøpe de første volumene til en høy pris og bidra til at kostnadene går ned slik at antall brukere kan øke.

Figur 5.5 illustrerer reduksjonen i netto utviklingskostnad når et nytt produkt bygges ut/tas i bruk i områder med ekstra høy betalingsvilje og/eller lavere kostnader enn i andre områder. Høydeforskjellen mellom den heltrukne grønne kurven og den heltrukne røde linjen (med kostnad 10) fram til 30 år viser kostnadsforskjellen per enhet på ulike trinn i utviklingen i et område uten spesielle fortrinn.

Den stiplede grønne kurven illustrerer *lavere kostnader* ved utbygging i spesielt gunstige områder. Eksempler: spesielt gode solforhold for solkraft, mye og jevn vind for vindkraft, og lave utbyggingskostnader.

Den stiplede røde kurven illustrerer at *verdien av produktet er høyere* i et område med høyere alternativkostnad. Eksempler: en mindre øy hvor en ny type bølgekraft sammen med batteri (og/eller solkraft og vindkraft) kan erstatte dyr kraft fra diesellaggregat, introduksjon av elbiler i en by med store forurensningsproblemer.

Hvis ett område oppfyller begge betingelsene, vil utviklingskostnaden per enhet på hvert trinn i utviklingen være lik høydeforskjellen mellom de to stiplede linjene. Eksempel: Område med dyr kraft og spesielt gode vindforhold.



Figur 5.5 Gode utbyggingsstrategier kan redusere kostnaden ved teknologiutvikling

Det er billigst hvis den tidlige utviklingen av en ny teknologi kan skje på steder med godt ressursgrunnlag, lave investeringskostnader og høy betalingsvilje for produktet som leveres. Etter hvert som kostnadene ved teknologien faller på grunn av læring og storskala produksjon, kan den tas i bruk i områder med svakere ressursgrunnlag og/eller lavere verdi av produksjonen.

I et europeisk perspektiv ville det gitt lavere utviklingskostnader om hovedtyngden av satsingen på solpaneler hadde skjedd i Sør-Europa i stedet for i Tyskland, som ikke har spesielt gunstige solforhold. Men av flere politiske og økonomiske grunner, som motstand mot kjernekraft, høy miljøbevissthet i befolkningen og en sterk engineering-industri, ble det skapt *et mulighetsvindu* for en ambisiøs og tidlig satsing i Tyskland. Tysklands satsing har vært viktig for å få kostnadene ned slik at andre land nå kan bygge ut solkraft til en mye lavere kostnad enn man kunne for få år siden. Det kostnadsmessige ideelle hadde vært at andre land med bedre solforhold hadde satset først, men også i økonomifaget gjelder ordtaket at man ikke skal gjøre det perfekte til det godes fiende.

Når kostnadene faller med økende utbygging, kan det være mest effektivt å konsentrere innsatsen om noen få teknologier, i hvert fall i første omgang. Hvis innsatsen spres for tynt ut på ulike teknologier kan resultatet bli at man ikke oppnår tilstrekkelig kostnadsreduksjon for noen av dem. Denne problemstillingen er drøftet i Torvanger og Meadowcroft (2011). Dette argumentet gjelder særlig der hvor ulike teknologier dekker omtrent samme funksjon. Men som vist i kapittel 4.2 og i Vedlegg 2 er det et stort behov for *komplementære* utslippsfrie teknologier i energisystemet for å redusere konsekvensene av tilfeldig variasjon i fornybar kraftproduksjon, og det er også behov for mange ulike teknologier som kan levere fleksibilitet. For å møte slike behov er det grunn til å satse på flere teknologier parallelt.

Det at ulike områder har ulike ressurser, kan også være et argument for å satse på flere teknologier samlet sett. Man kan da prioritere teknologisatsingen ut fra hvor de beste mulighetene er for hver teknologi – slik jeg har forklart foran i tilknytning til figuren.

5.4.2 Hva er det mest effektive samspillet mellom utbygging, forskning og utvikling?

Det har vært en debatt i Tyskland om fornybarsatsingen har gitt tilstrekkelig innovasjon. Det er krevende å spore slike sammenhenger entydig, men [Morris \(2014\)](#) viser at det parallelt med økt utbygging av sol- og vindkraft i Tyskland også har kommet en betydelig økning i antall patenter innen disse sektorene.

Beløpene som brukes til forskning på fornybar energi i Europa utgjør noen få prosent av det som investeres i fornybar energi. Det bør vurderes om en høyere andel forskning (både grunnforskning og mer anvendt forskning inkludert piloter) vil øke den samlede verdien av satsingen.

Det er viktig å legge til rette for at utbyggingen av fornybar energi og andre satsinger skaper mye innovasjon. Det kan være et poeng å standardisere produkter og få opp størrelsen på produksjonsseriene for å få ned kostnadene, men det er også viktig at man stimulerer til utprøving av nye og bedre løsninger, som for eksempel større vindturbiner. Et for snevert fokus på kortsiktig kostnadseffektivitet i støtteordninger for fornybar energi (eller andre klimaløsninger), kan føre til at alle investorene velger det kjent og sikre, og at man ikke får testet ut nye løsninger som kan drive utviklingen raskere framover. En interessant drøfting av effektiviteten i innovasjonspolitikken kan man finne i [IEA-RETD \(2014\)](#).

Det kan være et poeng at rike land som vil øke forskningsinnsatsen sin mye legger en del av den ekstra innsatsen til utviklingsland som har stor industriell og forskningsmessig kapasitet, for eksempel India. Det kan være flere grunner til å gjøre dette: (1) forskning og utviklingsarbeid kan være billigere i slike land, (2) teknologioverføring er viktig, (3) teknologien kan bli bedre tilpasset behovene i utviklingsland og (4) oppbygging av gode fagmiljøer for utslippsfrie teknologier og en tilhørende industri, kan øke landenes motivasjon til å gjennomføre klimatiltak. (Innenlandske forskningsmiljøer og industrier kan være en effektiv lobby for å gjennomføre tiltak.)

Kostnadseffektiv innovasjon er viktig for en kostnadseffektiv og virkningsfull klimapolitikk.

5.5 Virkemidler for langsiktig omstilling og læring

Vi har sett at utvikling av nye teknologier kan gi store gevinster, men ofte vil gevinstene først komme etter flere tiår med innsats. Dette betyr at man må handle ut fra et langsiktig perspektiv for å lykkes. Da trenger vi også virkemidler som fremmer langsiktig satsing på en effektiv måte.

I dette kapitlet drøfter jeg spesielt to faktorer som kan svekke viljen til langsiktig omstilling og teknologiutvikling: a) høye avkastningskrav i næringslivet og b) regulatorisk usikkerhet om langsiktig klimapolitikk. Utfordringene knyttet til høye

avkastningskrav og usikkerhet er spesielt tydelig hvis man ønsker å bruke et kvotesystem for CO₂ (EU ETS) som det sentrale virkemiddelet for langsiktig omstilling og teknologiutvikling.

5.5.1 Høye private avkastningskrav kan redusere kostnadseffektiviteten

Jo høyere avkastningskrav man har, desto mindre vekt tillegges man inntekter og utgifter langt fram i tid. Hva som er riktig avkastningskrav for ulike investeringer er et komplisert spørsmål som har stor betydning. Det er ulike oppfatninger om hva som er et rimelig nivå på avkastningskravet knyttet til klimatiltak, men mange mener at man skal bruke *et relativt lavt avkastningskrav* i dette tilfellet, kanskje rundt 4 % (realavkastning) eller lavere. En grunn til dette er at klimatiltak kan sees som en forsikring mot mulige klimascenarier med ekstreme negative konsekvenser.

En generell regel er at man vil legge en såkalt risikofri realrente²⁸ i størrelsesorden 2-3 % til grunn for en sikker fremtidig inntekt eller utgift. Hvis en investering *reduserer* samlet fremtidig risikok eksponering, kan man være villig til å bruke et enda lavere avkastningskrav. Siden klimatiltak blant annet kan oppfattes som en forsikring mot katastrofale klimascenario, kan man se på tiltakene som et middel til å redusere samlet risiko. Det kan tilsi et svært lavt avkastningskrav. Det finnes også gode argumenter for at nyttestrømmer langt fram i tid bør ha et relativt lavt avkastningskrav.²⁹

Mens klimatiltak bør vurderes med et relativt lavt avkastningskrav og et svært langt tidsperspektiv, opererer private bedrifter ofte med avkastningskrav i størrelsesorden 10 % og i noen markeder krever man enda høyere avkastning.³⁰ I tillegg bruker man ofte relativt korte analyseperioder, for eksempel 20 – 30 år, og ignorerer inntekter som en investering kan gi etter denne perioden. Hvis man analyserer klimaproblemet med et så kort tidsperspektiv, vil man i praksis ikke få noen klimapolitikk. På grunn av treghetene i klimasystemet er utviklingen de neste 20 årene i stor grad gitt ved utslipp som allerede har funnet sted. Det er vektleggingen av utviklingen i et langsiktig perspektiv som gir grunn til å gjennomføre klimatiltak.

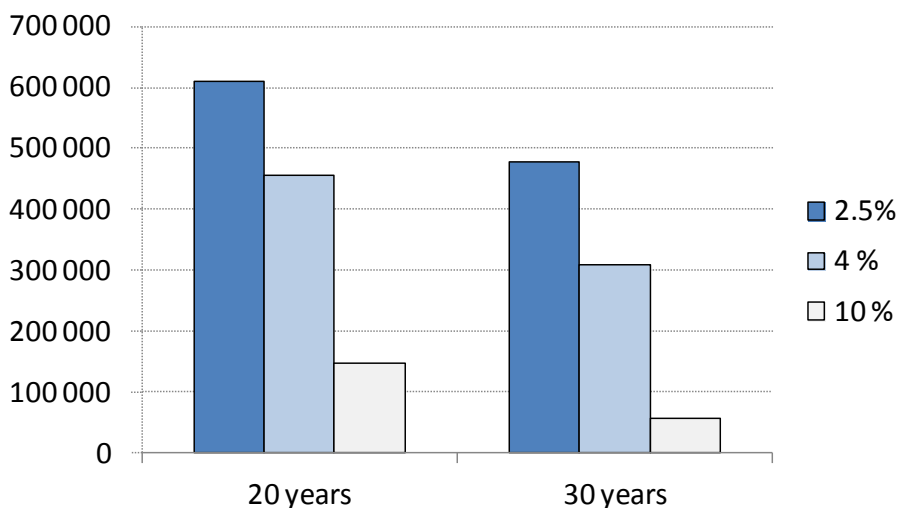
Usikkerhet om fremtidig klimapolitikk og virkemiddelbruk kan i verste fall bidra til at næringslivet bruker et ekstra høyt avkastningskrav ved klimarelaterte investeringer.

²⁸ Realrente er rente korrigeret for prisstigning. Hvis renten på et lån er 4 % og prisstigningen er 2,5 %, blir realrenten 1,5 %.

²⁹ Flere regjeringer, blant annet den franske og den britiske, har anbefalt å bruke fallende avkastningskrav. For UK er anbefalingen å bruke 3,5 % for 1-30 år, 3 % for 31-75 år, 2,5 % for 76-125 år og 2 % for 125-200 år. Den teoretiske begrunnelsen for å bruke avtakende avkastningskrav (DDR) er særlig knyttet til *usikkerhet* om fremtidig vekst, fremtidige relative priser, fremtidig inntektsfordeling og fremtidig rentenivå. Se for eksempel Stern Review (2007) og Sterner and Persson (2008).

³⁰ I teorien skal man bruke ulike avkastningskrav for ulike nytte- og kostnadsstrømmer, avhengig av hvilken risikoprofil de har. Men mye tyder på at bedrifter ofte bruker det samme avkastningskravet på alle kontantstrømmer. For private bedrifter blir utgifter til klimatiltak og sparte klimakostnader kun en av mange poster i regnskapet, og bedriftene vil ikke uten videre ta inn over seg at samfunnet ønsker at klimatiltak skal vurderes med et lavere avkastningskrav. Usikkerhet om fremtidig klimapolitikk kan også bidra til at man bruker et høyt avkastningskrav på utslippsreducerende prosjekter.

Høye avkastningskrav i private virksomheter gir flere utfordringer i klimapolitikken. En utfordring er at private aktører vil legge langt mindre vekt på fremtidige utslippskostnader enn offentlige aktører og planleggere som opererer med mye lavere avkastningskrav. Når aktører med ulike avkastningskrav stilles overfor den samme langsiktige banen for karbonpriser, vil de ikke verdsette fremtidige utslippsreduksjoner likt. Figur 5.6 illustrerer dette poenget. Den viser hvor mye aktører med ulike avkastningskrav er villig til å investere i dag for å få en like stor utbetaling (for eksempel fra sparte kostnader for karbonutslipp) om henholdsvis 20 og 30 år.



Figur 5.6 Nåverdi av å få 1 million kroner henholdsvis 20 og 30 år inn i fremtiden, gitt avkastningskrav på 2,5 %, 4 % og 10 %

Aktører med ulike avkastningskrav vil verdsette *kortsiktige* utslippsreduksjoner likt: alle vil være villig til å bruke inntil en million kroner for å spare utslipp som koster en million kroner i dag. For kortsiktige tiltak gir derfor like karbonpriser en kostnadseffektiv fordeling av innsatsen mellom aktørene. (Jeg forutsetter her effektive markeder. Hvis man har informasjonsbarrierer, incentivskjevheter eller irrasjonelle aktører kan det gi avvik.) Men aktører med ulike avkastningskrav vil, som man ser av figuren, verdsette fremtidige utslippsreduksjoner svært forskjellig selv om de står overfor samme prisbane for utslipp. Mens en aktør med 4 % avkastningskrav er villig til å investere vel 456.000 kr i dag for å spare utslipp verd en million om 20 år, er aktøren med avkastningskrav på 10 % kun villig til investere 1/3 av dette for å oppnå den samme fremtidige utslippsreduksjonen. Dette er ikke kostnadseffektivt. Problemet er først og fremst de høye avkastningskravene i næringslivet.

Avkastningskravene kan også være forskjellig i ulike land. I en del utviklingsland bidrar politisk og sosial ustabilitet til at mange bedrifter har svært høye avkastningskrav. Dette medfører ofte at man velger løsninger som gir små investeringer og høye driftskostnader. Høye avkastningskrav kan for eksempel lede til at man bruker dieselaggregat til strømforsyning i stedet for å satse på fornybar kraft som kan være billigere på lang sikt (med normale avkastningskrav). Problemet oppstår fordi fornybar energi gjerne har store investeringskostnader og svært lave driftskostnader, mens dieselaggregatet ikke er så dyrt i innkjøp, men gir høye

driftskostnader gjennom hele levetiden. Ved sammenlikning av to slike alternativer betyr avkastningskravet (og finansieringsevnen) mye.

Høye avkastningskrav reduserer også næringslivets vilje til å investere i langsiktig FoU. Dette kommer i tillegg til utfordringene ved at selskapene kun får en mindre andel av kunnskapsverdiene. Offentlig sektor kan kompensere for effekten av høyt avkastningskrav ved å finansiere langsiktig forskning og teknologiutvikling (i egen eller bedrifters regi), og ved å støtte inkrementell innovasjon i næringslivet. I tillegg kan offentlig sektor sette i gang en større implementering av nye løsninger (som for eksempel utbyggingsprogrammer for vindkraft eller solceller) *for å skape et marked* der man i realistiske omgivelser får i gang uttesting og learning-by-doing. Når man skaper et marked for produktene, slik amerikanske myndigheter gjorde ved bl.a. forsvars- og romfartsprogrammene, får man også startet læreprosessen. Ved tidlig etablering av markeder for nye klimaløsninger (eller andre formål) får man de praktiske laboratoriene for å teste og lære i alle trinn i verdikjeden. Det at markedet for en ny løsning (som solenergi) faktisk eksisterer – og ikke er et hypotetisk marked mange år frem i tid – kan i betydelig grad løse problemet med høye avkastningskrav og kort tidshorisont i private virksomheter: *Det blir kortere vei fra ide til salg og fortjeneste.*

5.5.2 Usikkerhet svekker handlekraften og øker kostnadene

Usikkerhet om fremtidig klimapolitikk kan svekke viljen til å investere i utslippsreducerende tiltak og FoU. Betydningen for markedsaktørene vil avhenge av hva slags virkemidler som brukes. Hvis karbonprisen er det viktigste eller eneste virkemiddelet og den fremtidige karbonprisen er svært usikker, gir dette usikre inntekter for dem som skal investere i utslippsreducerende tiltak. En avtalt og troverdig bane for karbonprisen (for eksempel i form av en avgift) kan gi vesentlig mindre usikkerhet. En garantert støtte, som for eksempel tyske feed-in-tariffer³¹ (FiT) for fornybar energi, kan gi mye mindre risiko for investorene (se 5.4.3). Anbudskonkurranser om utbygging med avtalt støtte (for eksempel investeringsstøtte) kan gi en liknende trygghet for investorene.

Trygghet for at politikken er langsiktig og stabil, er viktig ikke kun for utbyggere, men for *hele verdikjeden* som skal levere komponenter og tjenester til utbyggerne. Investeringer i ulike deler av verdikjeden er, sammen med konkurranse om de beste og billigste løsningene, viktig for å få kostnadene ned og lønnsomheten opp. For at leverandørene skal våge å investere i anlegg som kan få ned kostnadene, må de ha tro på de langsiktige mulighetene.

Bred politisk enighet øker stabiliteten og troverdigheten i klimapolitikken. Troverdigheten kan bli styrket hvis klimapolitikken er knyttet til forpliktende internasjonale avtaler. Det er også viktig hvordan man utformer virkemidler som skal gi investeringssignaler. EUs kvotesystem for klimagassutslipp illustrerer dette. Siden finanskrisen i 2008 har kvoteprisen for CO₂ i EU kollapset. Mens det fram til 2008 var forventet at kvoteprisen ville ligge klart over €20 per tonn, skapte krisen et stort overskudd av kvoter og et sterkt prisfall. I 2014 har kvoteprisen vært nede i €5

³¹ Feed-in tariff gir investorene en garantert betaling for hver kWh som de produserer i et gitt antall år, for eksempel 20 år. Beløpet er tilpasset kostnadsnivået for den enkelte teknologi.

per tonn. Overskuddet av kvoter er i 2014 større enn ett års CO₂-utslipp innenfor kvotemarkedet. Denne utviklingen skyldes i stor grad at den økonomiske krisen har ført til mye lavere etterspørsel etter kvoter fra industrien og kraftsektoren. Når etterspørselen faller betydelig og tilbudet er uendret (uelastisk), kan slike overskudd oppstå.

Den eneste grunnen til at kvoteprisen i 2014 ikke er null, er at kvotene kan spares og at verdien forventes å stige i fremtiden når det etter hvert blir en knapphet på kvoter. Fremtidig knapphet er knyttet til at man hvert år fram til 2020 reduserer totalt antall kvoter med 1,74 % av kvotetaket i 2010 og at det forventes raskere innstramminger fra 2021. Det store overskuddet av kvoter og den lave kvoteprisen gjør det – alt annet likt – lettere for EU å kutte kvotetaket raskere etter 2020. EU har et mål om å kutte totale utslipp av klimagasser med 20 % (fra 1990-nivå) til 2020. På grunn av den økonomiske krisen vil man lett nå dette målet. EU-kommisjonen har foreslått et mål om å kutte utslippene med 40 % (fra 1990-nivå) til 2030. Forslaget innebærer at kvotetaket skal reduseres med 2,2 % per år fra 2021.

Inntil målene for energieffektivisering, fornybarutbygging og CO₂-utslipp for 2030 er bestemt, vil det være *stor regulatorisk usikkerhet* om hva slags kvotepriser man kan forvente på lengre sikt.³² Også etter at målene for 2030 er endelig besluttet, vil det være en betydelig regulatorisk risiko, bl.a. knyttet til om man faktisk vil gjennomføre politikken og nå alle målene.

Diskusjon i 2014 om mål for energieffektivisering kan illustrere problemene med regulatorisk risiko for kvotesystemet. Vinteren 2014 gikk EU-parlamentet inn for et mål om 40 % energieffektivisering fram til 2030. Dersom man beholder målet om 40 % kutt i klimagasser til 2030 og lykkes med 40 % energieffektivisering pluss for eksempel 30 % fornybar energi som parlamentet også gikk inn for, er det *stor fare for at kvoteprisen vil forbli svært lav*. Det kan skje fordi etterspørselen etter kvoter igjen blir mindre enn tilbudet.

Hvis det er realistisk og økonomisk fornuftig å nå 40 % energieffektivisering i 2030, kan et slikt mål være velegnet, men da bør man også heve ambisjonene for utslippskutt betydelig, slik at kvotesystemet kan fungere etter hensikten.

Hvis man skulle vedta et svært ambisiøst mål for energieffektivisering (som parlamentets forslag om 40 %) samtidig som det er stor usikkerhet om hvor mye man vil klare å gjennomføre i praksis, bidrar man til *økt usikkerhet både om hva som vil skje av energieffektivisering og hva som vil skje med kvoteprisen i fremtiden*. For kvoteprisen vil denne usikkerheten komme i tillegg til den betydelige usikkerheten om videre økonomisk vekst, usikkerhet om hva som skjer med global klimapolitikk, teknologiutvikling mm. De siste årene har tydelig vist hvor følsom kvoteprisen i EU

³² For et *gitt* utslippsmål vil høyere innsats for energieffektivisering og fornybarutbygging gi lavere kvotepris. Noen hevder på denne bakgrunn at mer innsats for energieffektivisering og fornybarutbygging ikke har noen effekt på totale utslipp, siden kvotetaket (egentlig målet for totale utslipp, alt er ikke omfattet av kvotemarkedet) bestemmer samlede utslipp. Drahjelp fra energieffektivisering og fornybarstøtte medfører i følge dette synet kun at etterspørselen etter kvoter blir mindre og at kvoteprisen går ned. Dette synet er korrekt *hvis kvotetaket er gitt*. Over tid er det imidlertid grunn til å anta at kvotetaket reduseres mer hvis man lykkes godt med de andre virkemidlene. Landene i EU er ikke likegyldig til hvor høy kvoteprisen er. Fremgang for energieffektivisering og fornybarsatsing gjør det lettere å sette mer ambisiøse mål for utslippsreduksjoner ved neste revisjon, uten at kvoteprisen blir uakseptabelt høy.

er for økonomiske tilbakeslag. Med denne usikkerheten friskt i minne vil markedsaktørene være svært forsiktige med å gjøre langsiktige investeringer som forutsetter en høy kvotepris. *Hvis kvoteprisen skal kunne fungere som et investerings-signal, må markedet ha stor tillit til at prisnivået blir relativt høyt i fremtiden.*

Hvis kvoteprisen skal spille en viktig rolle fram mot 2030, slik EU-kommisjonen skisserer i forslaget til mål for 2030, må kvoteprisen trolig være minst €40 (i €2014) i 2030. (Med brenselprisene i 2014 må kvoteprisene være i størrelsesorden €60 - 80 for at produksjonskostnadene for all kullkraft skal bli høyere enn kostnadene ved gasskraft.) Når kvoteprisene i 2014 har vært nede i €5 per tonn, tyder det på at markedet ikke har særlig tro på høye kvotepriser mot 2030. Hvis man kjøper kvoter for €5 i 2014 og kan selge dem for €40 i 2030 vil man få en avkastning på nesten 14 % per år. Den lave prisen i dag indikerer at det er få som tør å satse på en betydelig prisoppgang på lengre sikt. Og hvis det er få som tør å spekulere i at kvoteprisen skal betydelig opp, er det trolig også få som tør å gjennomføre investeringsprosjekter hvor lønnsomheten er avhengig av høy kvotepris.

Teknisk sett har EUs kvotesystem virket, og bidratt (litt) til at man når (eller overoppyller) målet om 20 % utslippsreduksjon i 2020. Men det store prisfallet fra 2008 har illustrert usikkerheten om fremtidig kvotepris og at denne typen karbonprising har store svakheter når det gjelder å fremme en langsiktig omstilling. Et virkemiddel som i noen perioder gir sterke signaler for omstilling og i andre perioder nesten slutter å virke, kan lede til handlingslammelse eller til en svært ujevn investeringsaktivitet. *Man får ikke tilstrekkelig langsiktighet. Omstillingen går langsommere og blir mindre kostnadseffektiv.*

En løsning med avgifter i stedet for et kvotesystem kan gi større prissikkerhet for investorene, men det er viktig at det ligger tunge politiske forpliktelser bak de langsiktige beslutningene om avgiftsnivå. Et kvotesystem kan også modifiseres ved for eksempel å ha et gulv og et tak for kvoteprisen med en angitt utvikling i disse prisgrensene fremover i tid. For eksempel kunne prisingulvet i EU vært €20 i 2020 med en jevn økning til €30 i 2030. Dette kan oppnås ved at man stopper utstedelsen av kvoter (og/eller kjøper tilbake kvoter) hvis kvoteprisen faller ned til prisingulvet. Hvis man når prisingulvet vil resultatet bli en raskere reduksjon i utslippene enn det som ligger i kvotetaket. California har innført et prisingulv i sitt kvotemarked, kanskje etter lærdom fra svakhetene ved det europeiske kvotemarkedet.

Etterspørselen etter kvoter kan, som vi har vært inne på, bli lavere enn forventet hvis man lykkes bedre enn antatt med energieffektivisering og fornybarutbygging, eller hvis den økonomiske veksten blir lavere enn man hadde regnet med. Hvis man har definert et tilstrekkelig høyt prisingulv for kvoteprisen, blir resultatet da at man kutter utslippene mer enn det målet som er satt (for eksempel 40 % i 2030). I en slik situasjon er overoppyllelse av målet et fornuftig resultat, siden det her viser seg lettere å få ned utslippene enn man trodde da planene ble lagt.

Det er foreslått en ny mekanisme fra 2021 for å trekke en del av kvoteoverskuddet ut av markedet og tilbakeføre kvotene når overskuddet etter hvert blir mindre. En slik mekanisme kan redusere usikkerheten noe. Se [European Commission \(2014\)](#) for mer om denne mekanismen.

En mindre volatil karbonpris vil gi et sterkere investerings-signal. Økt tillit til fremtidig karbonpris fremmer omstilling og kostnadseffektivitet.

Kvotesystemet i EU kan forbedres, men gitt de andre utfordringene jeg har pekt på foran, er det viktig å supplere karbonprisingen med støtteordninger og andre reguleringer for å få til en effektiv utvikling av nye løsninger og for å få gjennomført viktige langsiktige investeringer.

5.5.3 Feed-in tariff har gitt trygghet for investorene og fleksibilitet til myndighetene

Mange land har latt seg inspirere av Tysklands Energiewende og de feed-in-tariffene (FiT) Tyskland har benyttet. Den tyske politikken har hatt og har bred oppslutning i befolkningen, og virkemidlene har i tillegg gitt liten risiko for investorene. Ofte har lokalbefolkningen vært med som investorer. Den lave risikoen for investorene har vært viktig for investeringsviljen og kanskje også for det store kostnadsfallet.

FiT fungerer slik at de som investerer får en garantert betaling for hver kWh som de produserer i 20 år. Betalingen har vært tilpasset kostnadsnivået for de ulike teknologiene, slik at investorene har kunnet forvente en akseptabel avkastning. Utviklingen i støtten til solpaneler er spesielt interessant: Siden kostnadene for panelene har falt betydelig over tid, har man med visse mellomrom redusert tariffene for nye anlegg. De som allerede har investert får sin avtalte betaling, mens nye investorer må akseptere en lavere betaling. Dette systemet har gitt investorene sikkerhet *samtidig* som myndighetene har kunnet justere politikken jevnlig for å ta hensyn til kostnadsutviklingen og andre relevante endringer. For en gjennomgang av utviklingen i støttesystemet og samspeillet mellom politikk og markedsforhold, se Hoppmann J. et al. (2014).

Kombinasjonen av sikkerhet for investorene og fleksibilitet for myndighetene kunne man ikke like lett oppnådd med et mer generelt virkemiddel. Siden solpaneler i starten var mye dyrere enn andre fornybare kraftkilder, ville et system med lik støtte til ulike teknologier enten gitt urimelig høy betaling til dem som investerte i vind- og biokraft (og dermed mye høyere kostnader for forbrukerne), eller man kunne hatt et lavere nivå på støtten og gått glipp av satsingen på solkraft. *Når man har som mål å utvikle spesifikke teknologier, er det mest effektivt med virkemidler som rettes direkte mot dette målet.*

Utviklingen for solpaneler illustrerer begrensningene hvis man kun skulle brukt karbonprising som virkemiddel: Hvis kvoteprisen i EU skulle utløst investeringen i solpaneler – særlig i den tidlige fasen – måtte kvoteprisen og kraftprisen vært på et nivå som innbyggerne ikke ville akseptert og blitt der i mer enn 20 år.³³ Andre teknologier som kjernekraft, vindkraft og delvis gasskraft ville høstet eventyrlige fortjenester hvis kraftprisen var så høy, mens forbrukerne ville fått en svært høy energiregning. Kraftintensiv og utslippsintensiv industri som konkurrerer med land utenfor EU ville blitt nedlagt og erstattet av økt produksjon i land uten en streng klimapolitikk (med tilhørende utslippsøkning utenfor EU).

³³ Høyere kvotepriser løfter kraftprisen ved å gjøre produksjon fra kull- og gasskraft dyrere. Hvis markedsprisen skal gi investeringer som koster 4 kr per kWh, som var kostnaden for solkraft rundt år 2000, må kraftprisen også være på dette nivået. Og investorene må føle seg trygge på at kraftprisen blir på et slikt nivå i de neste 20 årene. En kraftpris rundt 4 kr per kWh ville kreve kvotepriser i størrelsesorden €500.

Tyske forbrukere har betalt kostnadene for solpaneler via FiT, men det er stor forskjell på at forbrukerne betaler en høy pris for solkraften og at de må betale en så høy pris for all strømmen de kjøper. Det måtte de gjort hvis kraftmarkedet skulle utløst investeringen i solpaneler.

I mange år ennå vil man trenge en svært høy karbonpris hvis denne skal drive fram utbygging av for eksempel offshore vindkraft. For å utløse investeringer i offshore vindkraft måtte man med dagens kostnadsnivå ha en kraftpris rundt 1,2 – 1,4 kr per kWh, og dessuten høy tillit til at dette prisnivået vil vedvare over levetiden til anleggene.

De fordelene jeg har påpekt ved FiT betyr ikke at dette systemet er perfekt. Etter hvert som andelen fossil kraft går ned og andelen variabel kraft øker, blir det stadig viktigere å stimulere kraftproduksjon som kan levere kraft når markedet trenger det mest. (Jamfør drøftingen i kapittel 4.2 og i Vedlegg 2.) En støtte som verdsetter hver kWh like høyt, gir ikke slike incentiver. Det er derfor åpenbart behov for å utvikle reguleringene videre.

Det er ønskelig at fornybar kraftproduksjon eksponeres for markedsprisene slik at investorene stimuleres til å velge teknologi, design og lokalisering som maksimerer den samfunnsmessige *verdien av kraften* i stedet for å maksimere *antall kWh*. Det bør være mulig å oppnå dette samtidig som man sikrer umodne teknologier lønnsomhet og begrenser risikoen for investorene.³⁴

I kraftmarkedet varierer prisen fra time til time. Det skyldes at prisen reflekterer kostnaden ved den dyreste produksjonsteknologien det er nødvendig å ta i bruk for å dekke forbruket. (Jamfør forklaringen i 4.2.2.) En mye høyere karbonpris enn i dag vil gi vesentlig høyere kraftpriser i periodene hvor de mest forurensende kraftverkene må kjøres. Dette vil stimulere til forbruksreduksjoner når nytten er størst, og styrke incentivene til å bygge fornybare kraftproduksjonen som kan levere mer kraft i disse periodene.³⁵ (Jamfør drøftingen i kapittel 4.2 og i Vedlegg 2.)

5.6 Samfunnsmessige læreprosesser er viktige

5.6.1. Innledning: Hvorfor er samfunnsmessige læreprosesser viktig?

Samfunnsmessige læreprosesser handler om utvikling av politikk, lover, regler og institusjoner, og utvikling av folks holdninger og forståelse av hva som er hensiktsmessig politikk og virkemiddelbruk. Holdninger endres på bakgrunn av erfaringer vi gjør og i samspill med utviklingen av regler og institusjoner.

Samfunnsmessig læring kan ha stor betydning for evnen til å gjennomføre en virkningsfull og kostnadseffektiv klimapolitikk. For å begrense global oppvarming

³⁴ Man kommer et stykke på vei ved for eksempel å gi investeringsstøtte (spesifikk for hver teknologi) for å dekke en del av investeringskostnadene og la markedsprisene stå for resten av inntekten. Alternativt kan man i tillegg til inntektene fra kraftsalg gi en årlig støtte som tilpasses for å gi en rimelig avkastning. Hvis markedsprisene går mye opp, for eksempel som følge av mye høyere karbonpriser eller høyere fossile priser, kan støtten gå ned og vise versa. Slike modeller kan sikre investorene en rimelig avkastning og hindre at de får en urimelig fortjeneste.

³⁵ Design og lokalisering av sol- og vindkraftanlegg kan justeres. I tillegg vil høyere priser i noen perioder øke lønnsomheten av kraft fra biobrensel og biogass, regulerbar vannkraft, lagringsteknologier for kraft og utbygging av overføringskapasitet.

til 2 °C er det nødvendig med en dyptgripende endring i hvordan vi produserer varer og tjenester og også i noen grad hva vi produserer (jamfør kapittel 2). Produksjon og bruk av energi må endres fundamentalt, transportsektoren må slutte med fossilt brensel og kanskje organiseres annerledes, deler av jordbruket og mange typer industri vil bli berørt. *Slike endringer krever ikke kun ny teknologi, de krever nye organisasjons- og markedsmodeller og nye virkemidler.* Skattesystemet må vris i grønn retning og vi trenger nye måter å tenke på om planlegging av bygninger, byer og annen infrastruktur. Utvikling av gode modeller for organisering krever tid og praktisk erfaring. Det kan også ta tid før befolkningen aksepterer nye løsninger.

Ved et tilbakeblikk på de siste 50-60 årene ser vi at det har skjedd store endringer i normer og regler i mange samfunn, for eksempel knyttet til likestilling, barneoppdragelse, seksuelle minoriteter og så videre. I mange tilfeller har endringer i lover og regler og i befolkningens holdninger virket gjensidig forsterkende. Det har også skjedd en påvirkning på tvers av land, ved at politikk i foregangsland har inspirert utviklingen i andre land. En god illustrasjon er hvordan mange bruker andre lands reformer som argument for å gjøre liknende reformer i eget land.

Lover som forbyr røyking i offentlige lokaler som restauranter og barer er et godt eksempel på samspill mellom lovgiving og holdninger, og på hvordan utformingen av politikk i et land kan påvirke beslutninger i andre land. New York forbød røyking i serveringssteder sommeren 2003 og flere land gjorde det samme i de etterfølgende årene. Norge innførte sin røykelov fra 1. juni 2004. To måneder før innføringen var 54 % av befolkningen positive til et forbud, *mens hele 76 % var positive til loven i oktober 2005*, i følge Store Norske Leksikon. Mange av motstanderne opplevde trolig loven som et fremskritt etter at den var innført.

Organisering kan påvirke folks holdninger på mange måter: I Danmark og Tyskland har man lagt til rette for at lokalbefolkningen i betydelig grad er medeiere i ny fornybar kraftproduksjon. Utbredt medeierskap ser ut til å styrke befolkningens støtte til utbygging og til energireformene generelt. Motsatt kan store selskap uten lokal forankring bli møtt med større skepsis. Også mekanismer for å kompensere lokalbefolkningen for ulemper ved utbyggingene kan ha en del å si for hvilke holdninger folk har. I tillegg viser forskning at måten prosessene fram til utbygging gjennomføres på har stor betydning. Og når utbygginger har skjedd endres ofte holdningene og mange blir mer positive til dem. Dette drøftes bl.a. i boka *Renewable Energy and the Public. From NIMBY to Participation* (Wright, 2011).

5.6.2 Læreprosess: Hva er de beste institusjonelle løsningene?

Aktuelle områder for læring (kunnskapsutvikling) er hvordan markeder, støtteordninger, bygningsstandarder, skattesystemer og karbonprising bør utformes for at man skal nå klimamål og andre mål på en kostnadseffektiv måte.

Svakhetene ved det europeiske kvotesystemet (EU ETS), særlig synliggjort etter 2008, viser utfordringene ved å organisere et system for karbonprising. Etter min vurdering ville et system med en avtalt og stigende bane for *avgifter* på utslipp av klimagasser vært bedre, først og fremst fordi dette gir mindre usikkerhet for

markedsaktørene og et enklere samspill med andre virkemidler.³⁶ Eventuelt kan man ha et kvotesystem med minimumspriser. Det er neppe enighet blant økonomer om hvordan systemet for karbonprising bør designes. Oppfatningene vil blant annet avhenge av hvordan man tror ulike modeller vil fungere i praksis, og hvordan man vektlegger ulike styrker og svakheter. Praktiske erfaringer med karbonprising er derfor et viktig grunnlag for å danne seg et bedre bilde av hvilke teoretiske svakheter som betyr mye for effektiviteten og hvilke som betyr mindre. Tilsvarende kan erfaringer med ulike støttesystemer for fornybar energi og virkemidler for energieffektivisering bidra til at man får bedre forståelse for hvilke virkemidler som fungerer mest effektivt i ulike situasjoner.

Eksempel: Utviklingen av effektive energimarkeder er en læreprosess

I Europa er utvikling av et velfungerende kraftmarked med handel på tvers av land viktig for å kunne erstatte fossil kraftproduksjon med fornybar/utslippsfri kraftproduksjon. Som påpekt i kapittel 4.2, vil et større innslag av uregulerbar kraft kreve mer handel og effektiv utnyttelse av fleksibilitet i kraftproduksjonen og hos forbrukerne. For å koordinere beslutninger om kraftproduksjon og forbruk for flere tusen kraftprodusenter og millioner av forbrukere, trengs det effektive markeder.

England og Wales deregulerte kraftmarkedet i 1989 og Norge fikk sin deregulering i 1990. (I Norge hadde man elementer av et marked helt tilbake til 70-tallet). Etter hvert har flere land fulgt etter, men EU er i 2014 ennå ikke i mål med etableringen av et indre marked for kraft. England og Wales gjorde en del endringer i reguleringen av kraftmarkedet like etter årtusenskiftet, og er nå i gang med en ny revisjon. Disse endringene kan være uttrykk for endrede behov fordi fundamentale markedsforhold har endret seg, og for en læreprosess hvor man endrer reguleringer som ikke har fungert tilfredsstillende.

I tilknytning til EUs mål om et indre energimarked foregår det en omfattende prosess for å etablere spilleregler som kan gi effektive markeder for bl.a. kraft. I slike prosesser kan man bygge på erfaringer fra land som har hatt markeder i mange år, men fordi markedsstruktur og de politiske forholdene varierer, kan man ikke alltid kopiere etablerte modeller direkte. Det tar tid å utvikle gode modeller for organiseringen av kraftmarkedet i Europa, og modellene kan bli justert etter hvert på grunnlag av erfaringer og fordi endret fysisk struktur i markedene kan tilsi en annen organisering.

Ved utbygging av stadig mer variabel fornybar kraftproduksjon og nedbygging av fossil kraftproduksjon stilles kraftsystemet overfor nye utfordringer. Blant annet må forbrukssiden bidra mer til å skape balanse mellom forbruk og produksjon. Dette kan tilsi endringer i markedsdesign og i hvilke roller ulike aktører og delmarkeder skal ha.

Praktiske erfaringer bidrar sammen med teoretiske studier til at markedsdesign og andre reguleringer gradvis forbedres slik at ressursbruken blir mer effektiv.

³⁶ Både en planlagt bane for avgifter og et kvotesystem med en planlagt bane for utslippsreduksjoner innebærer en politisk risiko. Men kvoteprisen er i tillegg utsatt for mye annen usikkerhet, blant annet den makroøkonomiske utviklingen, teknologisk utvikling på en rekke områder og grad av suksess med andre klimavirkemidler som energieffektivisering og fornybarutbygging.

5.6.3 Samspillet mellom endringer og holdninger

I deregulerte kraftmarkeder vil man i visse situasjoner og perioder få høye kraftpriser. Dette kan skape motstand i befolkningen og lede til krav om offentlige inngrep for å begrense prisøkningen. Når høye priser er uttrykk for reell knapphet (og ikke for svakheter ved markeddesignet), vil inngrep for å holde prisene nede gi mindre effektiv ressursbruk og på lang sikt høyere kostnader for forbrukerne. De høye prisene er nødvendige for å stimulere forbrukere og produsenter til å øke sin fleksibilitet.

Basert på norske erfaringer ser det ut til at befolkningen etter en del år med kraftmarked har fått større aksept for at prisene kan være høye i visse perioder. (I Norge, hvor nesten all kraft produseres med vannkraft, vil dette normalt skje i perioder med lite nedbør og dermed lite vann i vannkraftsystemet.)

Hvorfor er det så vanskelig å få bort subsidier til fossil energi?

Eksistensen av omfattende subsidier til fossil energi i mange land – og utfordringene med å fjerne dem – viser at folk kan gjøre motstand mot endringer selv om endringene vil gi stor positiv verdi for landets økonomi og for miljøet. [IEA \(2013\)](#) har anslått samlede subsidier til *forbruk* av fossil energi i verden til \$544 milliarder i 2012. (I tillegg er det en del subsidier til produksjon av fossil energi, bl.a. til utvinning av kull.) Dette er seks ganger så mye som samlet støtte til fornybar energi. Mye av støtten går til å holde prisene på brensel nede i fattige land. Slike subsidier medfører en rekke problemer: De øker CO₂-utslippene og forsterker lokale miljøproblemer, og de gir et betydelig økonomisk tap for landene som betaler subsidiene, blant annet ved å belaste offentlige budsjetter og fortrenge tiltak som ville gitt større velferd og mer vekst. I land som ikke selv produserer fossil energi øker subsidiene også importavhengigheten. Videre favoriserer subsidiene i betydelig grad den velstående delen av befolkningen. [The Economist \(2014b\)](#) har referert til forskning fra IMF som viser at kun 7 % av subsidiene ender hos de fattigste 20 % av husholdningene, mens hele 43 % av subsidiene ender hos de 20 % rikeste.

Indonesia og Malaysia har relativt nylig redusert sine subsidier til fossil energi, og andre land vurderer å komme etter. Selv om det objektivt sett er meget sterke grunner til å fjerne subsidier til fossil energi, har det i mange tilfeller vist seg politisk vanskelig. I flere land har forsøk på å fjerne subsidier ført til omfattende protester. I noen land har myndighetene blitt tvunget til å reversere eller bremse endringene, mens andre land har lyktes med å avvikle eller redusere subsidiene. For en kort gjennomgang, se World Economic Forum (2013). Også i Malaysia og Indonesia har det vært betydelige protester mot endringene. The Economist skriver i artikkelen omtalt foran:

Whether more countries will follow the lead of Indonesia and Malaysia, however, does not depend only on economics. On New Year's Eve thousands turned out in Kuala Lumpur, Malaysia's capital, to protest against the cuts. And in Indonesia public opinion has put politicians under pressure to roll back some of the reforms this year. When it comes to cutting subsidies, politics can still trump even the best economic or environmental arguments.

Det er viktig å utvikle *gjennomførbare* strategier for å avvikle subsidier til fossil energi. Aktuelle elementer i en strategi for avvikling kan være å skape brede politiske flertall for omstillingen og bruke informasjonskampanjer i forkant.

Kanskje er det også klokt å øremerke de innsparte midlene til populære og viktige samfunnsformål, slik at det blir tydelig at pengene brukes til bedre formål. En gradvis avvikling vil trolig møte mindre motstand enn brå kutt.³⁷

Når noen land går foran, kan andre lære av pionerens erfaringer. Støtten til nasjonale reformer kan også bli sterkere når andre land har vist at løsningene fungerer.³⁸

Rushtidsavgifter gir store gevinster i de store byene

I de fleste av verdens storbyer har man betydelige køproblemer i trafikken. Dette gir store samfunnsøkonomiske kostnader i form av tidstap og økt forurensning. Hvis man ikke bygger ut egne kjørefelt for kollektivtransport, blir også busser stående i kø. Køene kan derfor svekke muligheten til å etablere et effektivt kollektivtilbud. (Det tar lang tid å bygge ut undergrunnsbaner og det koster dessuten relativt mye.)

Samfunnsøkonomers (tilnærmet enstemmige) svar på køproblemet er at knappe goder bør rasjoneres ved hjelp av en pris (avgift) og ikke ved kø, forutsatt at kostnadene ved å innkreve betalingen ikke er urimelig høye og at fordelingsvirkningene er akseptable. Teknologi for å avgiftslegge kjøring i byer på en kostnadseffektiv måte har eksistert i mer enn 20 år. Motstandere innvender ofte at rushtidsavgifter vil ramme svake grupper, men det er vanskelig å se at køprising skal ha spesielt uheldige fordelingseffekter. Bilister er generelt ikke en svak gruppe og i den grad man finner uakseptable fordelingseffekter bør det være mulig å kompensere dem. Det er også viktig å huske at noen grupper kan rammes hardt av ulempene ved dårlig fremkommelighet. Men dette er ulemper vi er vant til, så vi tar dem derfor ofte for gitt.

Mens køprising er en rasjoneringsmekanisme hvor det aller meste av betalingen blir inntekter for offentlig sektor, gir rasjonering ved hjelp av kø trafikantene en stor ulempe uten å ha en tilsvarende inntektsside. Noen storbyer har innført rushtidsavgifter (Singapore 1975, London 2003, Stockholm 2007 og Göteborg 2013), og oppnådd betydelige forbedringer i trafikkflyt og miljø. Gitt de enorme kostnadene ved bilkøer i moderne storbyer, er det påfallende at så få byer har innført slike ordninger. En nyttekostnadsanalyse av systemet med køprising i Stockholm i 2009 anslo årlig netto nytte av tiltaket til 683 millioner svenske kroner. (Brunstad og Vagstad, 2010)

Rushtidsavgifter vil trolig være et svært lønnsomt tiltak i de fleste storbyer selv om man bare tar hensyn til verdien av tidstapet for trafikantene. For å utvikle

³⁷ Økonomer misliker øremerking fordi det gir bindinger på ressursbruken. Hvis øremerking er nødvendig for å få gjennom en viktig reform, kan likevel nytten overstige ulempene ved øremerkingen.

³⁸ I 2004 var det 45 land som hadde innført støtteordninger for fornybar energi. Tidlig i 2014 var 137 land som hadde innført støtteordninger og 148 land som hadde satt seg mål for utbygging. ([REN21, 2014](#)). Renewables 2014 Global Status Report) I 2014 har også Saudi-Arabia annonsert et mål om å bygge 41 GW solkraft innen 2032. Myndighetene i Saudi-Arabia ser også for seg å bygge 9 GW vindkraft fram til 2032. Det er naturligvis vanskelig å avgjøre i hvilken grad et lands reform er stimulert eller inspirert av andre lands reformer, men det er liten tvil om at mange land har studert de støtteordningene man har hatt i Tyskland og i andre land før de har gjennomført sine egne reformer. Det er naturlig at man ønsker å lære av styrker og svakheter ved reformene, samtidig som man også kan bli inspirert til handling når reformene fungerer. Det er lettere å argumentere for gjennomføring av en reform som allerede er testet ut i andre land enn å argumentere fra et rent teoretisk grunnlag.

fremtidens smarte byer med godt lokalt miljø, lave CO₂-utslipp, effektiv kollektivtransport og høy trivsel, kan rushtidsavgifter være helt nødvendig.

I Stockholm ble rushtidsavgifter først innført som en prøveordning i 2006. En eventuell videreføring skulle godkjennes i en folkeavstemning etter prøveperioden. Resultatet ble at flertallet sa ja, og ordningen ble gjort permanent fra 2007. Fremgangsmåten med en prøveordning kan være aktuell på flere områder. Vi har sett at når gode reformer først er gjennomført, får de ofte økt støtte i befolkningen. Etter gjennomføringen blir ulempene ved reformene avdramatisert, og i tilfellet med køprising opplever innbyggere verdien av økt fremkommelighet og bedre bymiljø.

For økonomer bør den utbredte motstanden i befolkningen mot åpenbart gunstige reformer som køprising og motstand mot fjerning av subsidier til fossil energi, være tankevekkende: *For å kunne realisere samfunnsmessig effektive ordninger må man også ha fokus på læreprosesser i bred forstand, ikke kun på hva som er den teoretisk ideelle ordningen.*

Skattekonservatisme

Motstanden mot endring av skatter og avgifter er ikke begrenset til miljøvennlige reformer, men er snarere uttrykk for en generell skattekonservatisme hvor befolkningen aksepterer de skatteformene og skattesatsene man allerede har, men motsetter seg nye skatter, også når de gir økonomisk gevinst for samfunnet og kompenseres på andre områder. Dette er uttrykk for motstand mot forandringer (i psykologisk forskning ofte kalt "status quo bias"), og ikke et uttrykk for at dagens skatter og avgifter er de best tenkelige. En sammenlikning av skatter og avgifter i Norge og Sverige kan belyse dette: På tross av at Norge og Sverige er nokså like samfunn, ville det vært svært vanskelig å få nordmenn til å akseptere en mye høyere boligskatt som man har i Sverige, eller å få svensker til å akseptere høye norske bilavgifter. Hvis de høye norske bilavgiftene hadde blitt innført i dag, ville heller ikke nordmenn ha akseptert dem. Disse avgiftene har historiske røtter tilbake til rasjonering av bilsalg for å begrense importen etter andre verdenskrig. Befolkningen i Norge er vant til disse avgiftene, og de fleste har derfor akseptert dem. Sverige har hatt bilprodusentene Volvo og Saab, og har ikke skattlagt kjøp av biler på samme måte som Norge.

På grunn av lang tilvenning aksepterer innbyggerne i mange europeiske land bensin- og bilavgifter som kunne startet et opprør i USA.

Skattekonservatisme er et eksempel på *stivhengighet* som jeg omtalte i kapittel 1.

5.6.4 Motstand mot høye karbonpriser – hva er implikasjonene?

Det kan være minst tre grunner til at politikere ikke ønsker at karbonprisen skal være for høy:

1. *Skattekonservatisme* kan skape motstand mot høye karbonpriser. Denne typen motstand kan trolig overvinnes med klokt politisk lederskap og tid. Ved en gradvis økning er sjansene større for at man får aksept.
2. *Svekket konkurranseevne for industri* som har store utslipp eller bruker mye energi (karbonlekkasje). Det kan skje hvis ikke konkurrentene i andre deler av

verden har en tilsvarende karbonpris. Dette er et reelt problem som må håndteres.

3. *Fordelingsvirkninger.* Høye karbonpriser vil gi store inntekter til noen (som eiere av kjernekraft og vannkraft) og store kostnader for forbrukere. I prinsippet kan mange slike effekter korrigeres, men det er ikke alltid like enkelt i praksis, og det kan ta tid.

Det kan også være andre faktorer som gjør at noen land ikke ønsker for høye karbonpriser. I EU kan motstandere av kjernekraft være bekymret for at høye kraftpriser (på grunn av høye karbonpriser) skal fremme bruken av kjernekraft. I EU er man også bekymret for å bli mer avhengig av gassimport til kraftsektoren (jamfør Putin og Ukraina). Kullkraft er ofte ansett som forsyningsmessig sikrere. Det er mulig at man vurderer en kombinasjon av mer fornybar kraft, stor innsats for energieffektivisering og en langsommere avvikling av kullkraft, som bedre, fordi det gir mindre importavhengighet og dessuten flere arbeidsplasser i EU. Disse momentene viser at klima- og energipolitikken formes av mange ulike hensyn.

Når det av ulike grunner ikke er mulig å sette karbonprisen så høyt som ønskelig, blir det viktig å bruke andre virkemidler i tillegg. Støtte til fornybar energi blir da ikke kun et virkemiddel for å ta vare på læringseffekter, og tiltak for å fremme energieffektivisering blir ikke kun et virkemiddel for å korrigere barrierer og markedssvikt knyttet til energibruk. Disse tiltakene blir også en kompensasjon for at man av ulike årsaker ikke kan sette karbonprisen så høyt som man kunne ønske fra et klimaperspektiv. Noen vil innvende at dette ikke er kostnadseffektivt. Ja, det er ikke like kostnadseffektivt som en politikk uten begrensninger på karbonprising, men det kan være langt mer kostnadseffektivt enn å vente med omstillingen. Klimapolitikk er et ombyggingsprosjekt som har en naturlig rekkefølge i hvordan ting gjøres. Det er kostnadseffektivt å bytte ut gammel og forurensende infrastruktur med utslippsfrie løsninger etter hvert som anlegg må skiftes. Kapasiteten i ulike verdikjeder for utbygging av solkraft, vindkraft, overføringsnett og så videre må bygges opp over tid og utnyttes jevnt og effektivt. Hvis man plutselig skal gjøre veldig mye om 10-15 år, kan kostnadene bli mye høyere, og det kan i praksis være umulig å nå målene fordi leverandørkjedene ikke kan bygges ut raskt nok. I tillegg må vi lære under veis.

Det er ønskelig å få karbonprisingen opp på et tilstrekkelig høyt nivå og gjøre den pålitelig som instrument. (Samtidig må vi håndtere utfordringer med karbonlekkasje, jamfør pkt 2 over. Se mer om dette i kapittel 6.) Så lenge karbonprisen ikke kan bli så høy som ønskelig, er de andre virkemidlene viktige for å holde farten oppe i ombyggingen av energisystemet. I tillegg er det alltid behov for slike virkemidler for å fremme målrettet teknologiutvikling og overkomme markedsimperfeksjoner på forbrukssiden.

Når man bruker flere virkemidler for å få ned utslippene, vil karbonprisen kun uttrykke en del av samfunnets verdsetting av utslippsreduksjoner (skyggeprisen på utslipp). Dette kan ha betydning når man skal vurdere hvilken vekt man skal tillegge utslippsreduksjoner ved planlegging av for eksempel offentlige prosjekter.

5.6.5 Teoretiske forklaringer på motstand mot forandring

Den motstanden mot forandringer som jeg har beskrevet foran, kan forklares teoretisk ut fra studier av hvordan *enkeltmennesker* reagerer og ut fra *institusjonelle forhold*.

Det er gjort en rekke studier innen sosialpsykologi og eksperimentell økonomi som beskriver tapsaversjon (folk synes det er mye verre å miste noe de har enn å vinne tilsvarende) og en beslektet effekt som på engelsk har fått navnet "The endowment effect".³⁹ Denne effekten kan forklares i tilknytning til et eksperiment hvor studenter får utdelt enten kaffe eller sjokolade, og etterpå blir spurt om de vil bytte til det andre godet. Det har vist seg at uansett hvilket av de to godene studentene får, er flertallet uvillig til å bytte til det andre godet etterpå. En rekke tilsvarende tester i mange land finner det samme mønsteret. Dette adferdsmønsteret avslører irrasjonell adferd i henhold til standard økonomisk tenkning, og ser ut til å være dypt rotfestet i menneskets natur. En morsom indikasjon på at dette mønsteret er dypt biologisk forankret, er at man har funnet et tilsvarende reaksjonsmønster hos sjimpanser.⁴⁰

Endowment-effekten er en barriere mot forandring, men har samtidig en optimistisk tolkning: Mens økonomer ofte tolker folks motstand mot forandring som uttrykk for *varige preferanser*, snakker vi her om en mer forbigående motstand. En tid etter endringen kan individene godt føle seg mer tilfreds med det nye godet. Den store økningen i støtten til røykeloven etter at den var innført, kan forstås på denne bakgrunn. I en rekke spørreundersøkelser har man funnet liknende endringer i folks holdninger til vindparker: etter at utbyggingen er gjennomført, er det klart færre som misliker vindparkene og flere enn før som uttrykker positive holdninger.⁴¹

Motstanden mot å fjerne en subsidie kan bli forsterket av at det er uklart hva man får igjen, og hvem som tjener på endringen. En økonom vil argumentere med at mindre offentlige utgifter (til fossile subsidier) gir mulighet til lavere skatter eller økt offentlig velferd på viktige områder, og at samfunnet alt i alt vil vinne på å fjerne subsidien. Men rent subjektivt kan mennesker oppfatte det som at penger som inndras ett sted, forsvinner i et svart hull.

Organisasjonsstrukturen i samfunnet kan forsterke effektene som skapes av den individuelle tapsaversjonen og endowment-effekten. Hvis det ikke er klart hva innsparte midler skal brukes til, vil det være vanskelig å mobilisere interessegrupper som *muligens* tjener på reformen, til å kjempe for den. De som *vet* at de taper på

³⁹ Daniel Kahneman, psykologen og adferdsforskeren som fikk nobelprisen i *økonomi* i 2002, beskriver disse effektene i boka *Thinking, Fast and Slow*. Se bl.a. kapitlene 26-28, og særlig avsnittet "Defending the Status Quo" i kapittel 28. Her skriver Kahneman bl.a. at "plans for reform almost always produce many winners and some losers while achieving the overall improvement. If the affected parties have any political influence, however, potential losers will be more active and determined than potential winners". (Kahneman, 2013)

⁴⁰ Dette er beskrevet i artikkelen "*Endowment Effects in Chimpanzees*" av Bronson et al. (2007). Deres observasjoner styrker en hypotese om at menneskers motvilje mot å gi fra seg noe man allerede har (i bytte mot noe som er minst like bra eller bedre sett fra en nykommers perspektiv), kan være biologisk fundert. For en kort nyhetsartikkel, se [Choi \(2007\)](#).

⁴¹ Se for eksempel [TNS Gallup/Enova \(2009\)](#) og [Damborg and Krohn \(2001\)](#)

reformen, vil derimot mobilisere aktivt, og de vil ofte ha etablerte organisasjoner som kan kjempe for deres synspunkt. (En parallell til dette er at godt etablerte næringer gjerne har sterke organisasjoner som talsmenn og lobbyister, mens potensielle vekstnæringer ikke har samme styrke til å fremme sine oppfatninger.)

Folks preferanser endrer seg og vi påvirkes av det andre mener og gjør

I nesten alle økonomiske analyser og fremstillinger behandles forbrukernes preferanser som en gitt størrelse. Man antar at forbrukerne har en genuin og individuell indre rangering for ulike goder, uavhengig av hvor lenge man har hatt godene og hvilke goder andre personer har. Psykologisk forskning tyder på at disse antakelsene ikke holder stikk. Dessuten vet vi alle fra historien og fra våre egne liv, at smak og preferanser endres. Mye tyder på at våre forbruksønsker påvirkes av hva andre gjør og har, at vi danner oss vaner, og at tilvenning endrer preferansene. Moter er et godt eksempel på dette.

I blindtester foretrekker mennesker mange ganger andre smaker enn det de oppgir på forhånd. Luksusgoder som i én tidsperiode gir status, kan i en annen periode fremstå som latterlige.⁴² Ting verdsettes ofte *fordi de gir sosial status*: I én situasjon kan det å ha en Hummer (stor, bensinlukende og dyr SUV) gi status, men med endrede holdninger i samfunnet kan det bli pinlig å kjøre en slik (unødvendig stor) bil når man ikke trenger det.

Reklame og andre påvirkningsfaktorer er også med å styre hva vi oppfatter som godt og vakkert. I artikkelen “*Marketing actions can modulate neural representations of experienced pleasantness*” drøfter Plassmann et al. (2008) en hypotese om at markedsføringstiltak kan påvirke selve *opplevelsen* av et produkt. Forfatterne testet en gruppes opplevelse av kvaliteten på vin og fant at testpersonene oppfattet kvaliteten som bedre når de trodde prisen var høy enn når de trodde prisen var lav.⁴³ MRI-skanning av testpersonene indikerer at de ikke bare *oppga* at smaken var bedre, *de opplevde den faktisk som bedre*. Dette viser at vår opplevelse av et produkt kan være sterkt påvirket av hva vi tror og tenker om produktets kvalitet og verdi, og hvilke holdninger og assosiasjoner som knyttes til det.

Smak og preferanser er i betydelig grad formbare gjennom sosial imitasjon. Det får vi også bekreftet når vi ser tilbake i tid, og undres over hvilke merkelige moteplagg og hårfrisyrer vi for noen år siden lot oss overtale til å gå rundt med. Slike fenomen er bl.a. drøftet i Cialdini (2001) og Ariely (2008). Det er også forskning som indikerer at familier oftere velger å montere solcellepaneler hvis naboer har gjort det. For en kort nyhetsartikkel med henvisning til flere forskningsarbeider, se [Plumer \(2014\)](#).

⁴² “In the mid 1880s, aluminium metal was exceedingly difficult to produce, which made pure aluminium more valuable than gold. So celebrated was the metal that bars of aluminium were exhibited at the Exposition Universelle of 1855. Napoleon III of France is reputed to have held a banquet where the most honored guests were given aluminium utensils, while the others made do with gold.” [Wikipedia \(2014b\)](#)

⁴³ I artikkelens sammendrag skriver forfatterne: “We propose that marketing actions, such as changes in the price of a product, can affect neural representations of experienced pleasantness. We tested this hypothesis by scanning human subjects using functional MRI while they tasted wines that, contrary to reality, they believed to be different and sold at different prices. Our results show that increasing the price of a wine increases subjective reports of flavor pleasantness as well as blood-oxygen-level-dependent activity in medial orbitofrontal cortex, an area that is widely thought to encode for experienced pleasantness during experiential tasks.”

Det at preferanser til en viss grad er formbare og påvirkes av samfunnsutviklingen, kan bety at vi over tid vil akseptere større omlegginger i en klimavennlig retning enn man får inntrykk av ut fra dagens forbrukeradferd.

Når folks valg tolkes som uttrykk for varige preferanser, vil man tolke betalingsvilje for et produkt som et uttrykk for en sann og varig verdi for forbrukeren, og man vil anta et tilsvarende nyttetap dersom forbrukerne må avstå fra produktet. Men for varer hvor etterspørselen i stor grad er basert på vaner og kanskje på den sosiale statusen som produktet gir, vil en endring ikke nødvendigvis gi et varig nyttetap.

Sosialpsykologen Cialdini er opptatt av det han kaller ”sosiale bevis”: Når andre mennesker verdsetter noe antar vi ofte at det har stor verdi. Vi tar etter andre mennesker, og mest tar vi etter personer som har høy status i våre øyne og mennesker som likner oss selv. Vi tar etter våre forbilders handlinger, kroppsspråk og måten de snakker på, og vi er langt mer lydhøre for argumenter og ideer som kommer fra personer med høy status og autoritet. Cialdini har et eksempel som er så fornøydlig at det fortjener å bli gjengitt: Han viser først til flere studier av læring i apeflokker. Her viser det seg at ny kunnskap om bedre matkilder eller nyttige metoder for å fange mat spres veldig langsomt i flokken hvis det er individer med lav status som først blir klar over mulighetene. Det kan da ta mer enn ett år før hele flokken har tatt i bruk den nye løsningen. Hvis lederen derimot tar tak i den nye ideen, kan den bli spredd til hele flokken i løpet av timer. Cialdini trekker så linjene til noe som skjedde i Chicago Bulls basket-team i 1995. To av spillerne hadde i lengre tid spist Energy Booster-plater før kamper uten at de andre spillerne tok særlig notis av det. Så begynte lagets leder og stjernespiller Michael Jordan å spise dem, og i løpet av kort tid spiste alle spillerne slike plater før kampene.

Om skjorbuk, tobakk, sukker og klima: hvorfor lærer vi så langsomt?

I 1740 la skvadronen til den engelske admiralen Lord Nelsons ut på en tre års sjøreise. Av et mannskap på 2000 døde halvparten av skjorbuk. I 1747 viste legen James Lind at pasienter som fikk sitroner ble friske av skjorbuk på få dager. *Men først 48 år senere, ble limejuice innført som en del av den daglige kosten i Royal Navy.* Det finnes utallige liknende eksempler på at mennesker, institusjoner og samfunn lærer langsomt og at det går mange år før ny innsikt trenger gjennom i samfunnet og blir nyttiggjort. Også forskere og akademiske profesjoner ser dessverre ut til å lære unødvendig langsomt i en del tilfeller.⁴⁴

⁴⁴ Cialdinis bok, *Influence. Science and Practice*, gjennomgår en omfattende sosialpsykologisk forskning som viser at mennesker i mange situasjoner ikke opptrer slik økonomer gjerne forutsetter. Daniel Kahneman snakker om ”theory induced blindness” blant økonomer. I boka *Thinking, Fast and Slow* beskriver han eksperimenter som klart viser betydelige svakheter ved økonomers grunnleggende antakelse om rasjonell atferd, og han kommenterer responsen blant økonomer slik: ”You might think that this surprising outcome would cause much anguished soul-searching among economists, as a basic assumption of their theory had been successfully challenged. But this is not the way things work in social science, including both psychology and economics. Theoretical beliefs are robust, and it takes much more than one embarrassing finding for established theories to be seriously challenged. (Sitat fra kapittel 33, Reversals, delkapittel Challenging Economics.) Poenget man skal merke seg her er at forskningen som gjengis av Cialdini og Kahneman ikke er ny. Mye av forskningen går flere tiår tilbake i tid. Cialdinis bok ble første gang utgitt i 1984.

Thomas Kuhn skrev for mer enn 50 år siden boka ”*The structure of scientific revolutions*” hvor han hevder at vanlig praksis i vitenskaper er å holde fast ved et paradigme (en teori eller overordnet modell), selv om det er falsifisert. Først når trykket mot det gamle paradigmet blir stort nok og det foreligger et tiltalende alternativ, skifter man paradigme.

Kunnskapen om skadene ved tobakksrøyking har vært kjent i årtier, men nedgangen i røyking har gått svært langsomt, mye langsommere enn det som kan forklares med *individuell* avhengighet. Tilsvarende har vi nå i en rekke år hatt kunnskap om helse-skadene ved bruk av raffinert sukker, men først de aller siste årene har man sett en nedgang i bruken av sukkerholdige drikker i noen land. (I noen land kan tobakksindustri og sukkerindustri ha bidratt til uklarhet og tvil om forskningen og dessuten påvirket offentlig politikk, men i mange land har informasjonen til forbrukerne vært meget klar.) Kan den langsomme læringen gi oss innsikt om vår nølende håndtering av klimautfordringen? Og finnes det et punkt hvor fornektelse av klimautfordringen blir praktisk talt umulig? Hvordan vil det påvirke handlekraften?

5.6.6 Et mer komplisert sosialt samspill

Mange spillteoretiske analyser har et nokså pessimistisk syn på mulighetene til å få på plass en ambisiøs internasjonal klimaavtale. Det kan være fristende å tolke den manglende suksessen i internasjonale klimaforhandlinger som et tegn på at disse analysene er riktige, men kanskje er saken mer sammensatt enn som så. Jeg er ikke et øyeblikk i tvil om at egeninteresse kan bety mye for våre valg og at spillteori kan gi nyttige innsikter. Men jeg tror ikke at alle våre handlinger og valg fullt ut kan forklares i en modell med rasjonelle aktører som fremmer egne interesser. Det er vanskelig å tenke seg at det *kun* er egeninteresse som har fått EU, om lag halvparten av delstatene i USA, mange storbyer, og svært mange land rundt om i verden til å pålegge seg selv klimaforpliktelser og starte program for å bygge ut fornybar energi.

Det er gjort en rekke kontrollerte eksperimenter som viser at mennesker i mange tilfeller ikke handler slik spillteorien forutsier, og det sies ofte på spøk at det kun er hovedfagsstudenter i økonomi som responderer slik teorien predikerer.⁴⁵ Dette kan ha betydelige praktiske implikasjoner. Økonomer forklarer ofte ødeleggelse av naturressurser (som beitland, fiskeressurser i havet eller atmosfæren) med *allmennings tragedie*. Logikken er her at når ingen eier ressursene vil alle overbeskatte dem (det er bedre at jeg bruker ressursen enn at andre tar den), og man ender med en dårlig løsning for alle. Dette er en tilforlatelig forklaringsmodell som kan ha mye for seg. Men det er langt fra åpenbart at den forklarer alt. Erling Moxnes viser i artikkelen *Overexploitation of renewable resources: The role of misperceptions* at det også skjer overbeskatning i tilfeller hvor det finnes et felles system for forvaltning, og at forsøkspersoner som skal forvalte en ressurs overbeskatter den uten at dette kan forklares med allmenningens tragedie: ”*All subjects err on the side*

⁴⁵ Et spill som har vært testet en rekke ganger i ulike kulturer er følgende: To spillere kan ikke kommunisere med hverandre, det spilles kun en omgang, spillerne er anonyme og vil ikke treffes senere. De får tilbud om å dele en pengesum, for eksempel \$100. Spiller A har fått oppgaven med å avgjøre hvordan de skal dele summen og kan dermed gi mer til seg selv. Spiller B kan enten akseptere fordeling og få sin andel, eller si nei. Hvis han sier nei får ingen av dem noe. I vanlig økonomisk tenkning vil spiller B si ja til enhver fordeling som gir ham *noe*, for eksempel \$5 av de 100, siden \$5 er bedre enn ingen ting. Hvis aktørene maksimerer egen økonomisk gevinst skulle man vente at A tar nesten alt selv og at B likevel sier ja, siden litt penger er bedre enn ingen. Men dette er ikke det typiske resultatet i spillet: A tar langt fra alt, og B sier i mange tilfeller nei hvis andelen han tilbys er for liten. En tolkning er at B ofrer pengene for å straffe As grådighet. B er ikke nødvendigvis irrasjonell hvis han sier nei, men han har åpenbart ikke bare opptatt av pengene.

Et morsomt poeng er at sjimpanser noen ganger handler mer i tråd med spillteoriens prediksjoner enn mennesker. Det belyses i et foredrag av [Colin Camerer: "Neuroscience, game theory, monkeys". \(Camerer, 2013\)](#)

of overexploitation. Behavior seems to be dominated by inappropriate, static mental models and inefficient heuristics.” (Moxnes, 1998)

Hva betyr det for klimapolitikken hvis allmenningens tragedie ikke er den eneste forklaringen på at det gjøres for lite? Og hva betyr det hvis en del av det som gjøres ikke er basert på egeninteresse?

Vi har sett mange eksempler på at mennesker og institusjoner lærer langsomt, også når det åpenbart er i deres egen interesse å ta i bruk en ny løsning. (Jmfør Royal Navy og skjorbuk.) Videre viser sosialpsykologisk forskning at vi påvirkes av hva andre gjør, og mest av dem vi ser opp til og de som likner oss (rollemodeller).

Resultater på individnivå kan ikke uten videre overføres til land. Men når man ser på ulike lands politikk og hvordan debattene om reformer foregår, synes det også som om politikken i mange tilfeller blir påvirket av det andre land gjør. Det kan delvis skyldes at vellykkede reformer gjør det enklere å følge etter, men det kan også skyldes at oppfatningen av hva som er riktig og nødvendig påvirkes av hva andre land gjør. Det fungerer som et argument i den innenlandske debatten at andre land gjør tiltak. Dette er ikke den eneste faktoren som påvirker politikken, men kanskje vil den noen ganger være utslagsgivende.

Det er flere moderne begivenheter hvor ideer og etterfølgende handlinger ser ut til å ha spredd seg raskt mellom land. Et eksempel er hippiebevegelsen og de senere studentopptøyene i mange land fra 1968 og noen etterfølgende år. Et annet eksempel er den arabiske våren som startet med protester i Tunis i desember 2010 og etter hvert spredte seg til en rekke arabiske land.

En mer ambisjøs klimapolitikk i et land kan fremme økt innsats i andre land ved at kostnadene ved klimatiltak går ned (teknologiutvikling og skalafordeler), ved at man får bedre modeller for gjennomføring av en kostnadseffektiv klimapolitikk (vellykkede reformer og institusjoner) og ved en moralsk forbildeeffekt.

5.6.7 Hva har Kina lært fra de spesielle økonomiske sonene?

Fra 1976, under ledelse av Deng Xiaoping, ble kinesisk økonomisk politikk gradvis mer pragmatisk og markedsorientert. Den kinesiske ledelsen må ha observert den langt høyere velstanden som var skapt i det markedsorienterte Taiwan og Hong Kong. Fra begynnelsen av 80-tallet åpnet Kina gradvis flere såkalte *spesielle økonomiske soner* hvor det ble tillatt med utenlandske investeringer, et betydelig innslag av markedsøkonomi og bruk av billig kinesisk arbeidskraft. Et viktig mål med sonene var å øke eksporten for å skaffe utenlandsk valuta, men det var også et mål å lære av utenlandsk industris teknologi og organisasjon. I tillegg ga sonene mulighet til å eksperimentere med ulike økonomiske reformer og høste praktiske erfaringer.^{46 47}

⁴⁶ “The country's special zones can serve as experimental units in economic structural reform and as schools for learning the law of value and the regulation of production according to market demands.” [Dixin, Xu \(2009\)](#)

⁴⁷ Økonomen Paul Romer har utviklet interessante tanker om hvordan lærdommene fra Hong Kong og kinesiske økonomiske soner kan brukes til å utvikle nye uavhengige byer som kan gi vekst i fattige land. Han har presentert sine tanker i flere foredrag som er tilgjengelig på ted.com, bl.a. “*Why the world needs charter cities*”. [\(Romer, 2009\)](#)

På grunn av den store økonomiske suksessen har sonene trolig gjort det lettere å få *tilslutning* til økonomiske reformer i resten av Kina. Det er lett å skape motstand mot uprøvde og teoretisk baserte reformforslag, men det er vanskelig å argumentere mot en påviselig suksess. Det var Deng Xiaoping som sa at det ikke spiller noen rolle om katten er svart eller hvit så lenge den fanger mus. Deng kan også ha tenkt at vellykkede reformer i noen soner vil være det beste argumentet – og den beste strategien – for senere reformer i resten av Kina. *Nothing succeeds like success.*

5.6.8 Samfunnsmessige læreprosesser bidrar til en kostnadseffektiv klimapolitikk

Vi har foran sett at samfunnsmessig læring skjer på mange plan, og både handler om utvikling av kunnskap om *hensiktsmessige organisasjonsformer* (markeder, lover, støtteregimer, skatter) og om *holdninger* i befolkningen. Vi har også sett at det ofte er et samspill mellom endringer i systemer og institusjoner på den ene siden og endringer i holdningene på den andre siden. Motstand mot endringer i reguleringer vil ofte bli redusert og erstattet av aksept og støtte når endringene først er gjennomført og støvet har lagt seg. Dette har viktige implikasjoner for hva som er en kostnadseffektiv og virkningsfull klimapolitikk: Når noen land, delstater, områder eller byer er tidlig ute med reformer, kan dette både gi et *kunnskapsgrunnlag* for bedre (mer kostnadseffektive) reformer i andre land og det kan gi *inspirasjon* til å gjennomføre reformer som gjør klimapolitikken mer kostnadseffektiv over tid.

Selv om pionerens klimatiltak *isolert sett* er dyre i forhold til tiltak som kunne vært gjennomført i andre land (hvis disse landene hadde vært villige), kan pionerens tiltak fremme en virkningsfull og kostnadseffektiv global klimapolitikk.

Rollemodeller og teknologi for ulike typer land

Kunnskap som utvikles ved reformer i ett land, vil ofte være mest relevant i land som likner politisk, kulturelt, institusjonelt, økonomisk, med hensyn til energisystem og andre viktige forhold. Kanskje blir man også mest *inspirert* av reformer i land som likner og som det derfor er lettere å identifisere seg med. Det er derfor behov for at mange *ulike* land, delstater og bysamfunn kan være tidlig ute med reformer og dele sine erfaringer til andre.

Danmark har valgt øya Bornholm med 43.000 innbyggere for å teste fremtidens bærekraftige energisystem, og spesielt for å teste ut smarte styringssystemer (smart grid) for kraftsystemet. København skal bli verdens første karbonnøytrale hovedstad ([Braw, 2014](#)) og på mange måter er hele Danmark et viktig pilotland for energiomlegging, lenger fremme og med mer ambisiøse mål enn Tyskland. Kina har en rekke byer der man tester ut bærekraftige løsninger ([Schmitz, 2013](#)). Beijing med rundt 20 millioner innbyggere, har nylig besluttet at kullkraft som nå dekker 25 % av byens kraftbehov, skal være avviklet i 2020 for å begrense luftforurensningen. Dubai planlegger en helt ny by med svært lave utslipp. (Masdar City, utenfor Abu Dhabi.) Kanskje burde EU velge ut en litt større øy i Middelhavet som det første samfunnet med et helt fornybart energisystem? Det kunne bli et viktig laboratorium for å høste erfaringer og dessuten en viktig inspirasjonskilde.

Mange av områdene som har gått langt i retning av kutt i utslipp, er relativt velstående. Det er også viktig å utvikle pionerområder blant fattigere land, og kanskje spesielt i fattige land som opplever stor økonomisk vekst (emerging economies). For å få fram modellsamfunn her, kan det være nødvendig at rike land

gir økonomisk og teknologisk støtte. Det haster med å utvikle gode løsninger for land som er på vei ut av fattigdom. Det er spesielt viktig å unngå at det gjøres store investeringer i løsninger som låser samfunnet til høye utslipp av klimagasser i mange tiår, for eksempel ved etablering av nye kullkraftverk. Det er derfor behov for tiltak som kan virke raskt i mange land. I tillegg er det viktig å tenke lenger fram og utvikle kunnskap som gjør det mulig for disse landene å kombinere langsiktig økonomisk vekst med lave og etter hvert fallende utslipp. Her kan pionerområder og -land spille en viktig rolle, sammen med ny teknologi.

Hvis teknologiutviklingen i hovedsak drives av industrialiserte land og regioner, er det en fare for at løsningene som utvikles i mindre grad dekker behovene i fattige land og i fremvoksende økonomier. Heldigvis kan solceller gi store bidrag i mange utviklingsland, men både for solceller og andre teknologier kan det være behov for å utvikle og tilrettelegge løsninger som er spesielt tilpasset behovene i utviklingsland. Dette omfatter også gode metoder for å finansiere investeringene. Støtte til en slik omlegging kan både være god bistandspolitikk og effektiv klimapolitikk.

Rike land behøver ikke begrense pionerrollen til eget land. Norge har gått i spissen for støtte til bevaring av regnskog. Dette bidrar til å verne biologiske mangfold, er gunstig for urfolk og er samtidig et svært kostnadseffektivt klimatiltak. Også på slike områder er læring viktig for å finne fram til de beste metodene for å sikre at man oppnår det som er målet.

5.7 Dynamisk og global kostnadseffektivitet

I mange vurderinger av samfunnsøkonomisk effektivitet legger man til grunn et statisk perspektiv: teknologier og tiltakskostnader antas å være gitt og folk preferanser antas å være konstante. Når man ser på et avgrenset problem i et mindre geografisk område og for en kort periode, kan dette være rimelige antakelser. Da vil det knapt eksistere noe samspill mellom tiltakene som vurderes og endringer i teknologi, kostnader og preferanser. Klimaproblemet har imidlertid en helt annen karakter: Det er globalt, berører nesten alle sider av samfunnet, det har ingen enkel løsning og det har et tidsperspektiv på mer enn hundre år. Dette gjør at læring er helt sentralt for å utvikle de gode løsningene: Ny teknologi og kunnskap som kan brukes i mange årtier og i hele verden, kan gi enorme gevinster på lang sikt.

Som vi har sett i dette kapitlet, gir teknologiutvikling og storskala utbygging viktige og gjensidig forsterkende bidrag til å få ned kostnadene ved klimaløsninger. Vi har også sett at læring handler om mer enn teknologiutvikling: Samfunn som går i spissen for en omstilling bidrar til økt kunnskap om hvordan omstillingen kan gjøres mest effektivt, og de kan dessuten inspirere andre til handling. Begge disse effektene kan bidra til økt global kostnadseffektivitet i klimapolitikken.

Det kan være hensiktsmessig å bruke betegnelsen *dynamisk og global kostnadseffektivitet* om analyser som har et globalt perspektiv og tar hensyn til at tiltak kan påvirke kostnads- og teknologiutviklingen og utvikle annen nyttig kunnskap.

Når en del analyser ser bort fra læringseffekter, kan det skyldes at man er mest opptatt av kostnadene og nytten for sitt eget land i et kortsiktig perspektiv, og mindre opptatt av læringseffekter som tilfaller verdenssamfunnet. Selv om

læringseffekter kan ha klar betydning også for enkeltland, og særlig for store blokker som EU, USA og Kina, er betydningen naturligvis mye større i et globalt perspektiv.

Debatten om kostnadseffektivitet blir ryddigere dersom man presiserer om man snakker om kostnadseffektivitet i forhold til avgrensede og kortsiktige nasjonale mål eller om kostnadseffektivitet i et globalt og langsiktig perspektiv. Konklusjonene om hva som er kostnadseffektivt kan bli svært forskjellige.

BEGRENSET DELTAKELSE GIR UTFORDRINGER

6.1 En bredere og mer robust klimastrategi

Arbeidet for å få på plass globale avtaler for utslippskutt kompliseres av at landene har ulikt historisk ansvar for utslipp av klimagasser, rammes ulikt av klimændringene, har ulik økonomisk evne til å gjennomføre klimatiltak og klimatilpasninger, ulike kostnader ved utslippskutt og ulike styringssystemer og institusjoner.

Hvis vi skal lykkes med å begrense global oppvarming til 2°C, må alle land etter hvert bli med på omfattende klimatiltak. I FN-systemet snakker man om felles, men differensiert ansvar. Det betyr at alle land må med, men at kravene til tiltak i hvert land og fordelingen av byrdene kan være forskjellig, særlig i de første tiårene.

Vi trenger en strategi som utløser mer handling nå og i fremtiden. Dette kapitlet gir innspill til en slik strategi. Vi kan trolig lære av det som faktisk har skjedd til nå: Mye av klimapolitikken som gjennomføres har grodd fram "nedenfra" i delstater, land og i blokker som EU. Denne politikken er tilpasset forholdene der den er utviklet. Kanskje er det klokt at global klimapolitikk både tilpasses til at landene er forskjellige og utnytter disse forskjellene for å oppnå mer. Et eksempel kan illustrere det siste momentet: Saudi-Arabia er ingen ivrig tilhenger av globale klimaavtaler som kan redusere oljeprisen, men planlegger likevel å bygge 25 GW konsentrert solkraft (og 16 GW PV) innen 2032. Satsingen på konsentrert solkraft kan gi et viktig bidrag til å videreutvikle denne teknologien. For Saudi-Arabia kan dette ses som en langsiktig satsing for å utnytte en nasjonal ressurs (ledig ørkenareal med overskudd av sol), og et bidrag til diversifisering av økonomien og energiforsyningen i landet.

6.1.1 Foregangsland får andre land til å gjøre mer – etter hvert

En ambisiøs klimasatsing i et land eller en gruppe av land kan bidra til at andre gjør mer. Dette kan skje på flere måter

- Forskning, utvikling og utbygging av nye løsninger gir læringseffekter og skala-gevinster som etter hvert gjør utslippsreduksjoner billigere.
- Land som satser tidlig utvikler kunnskap om egnede organisatoriske modeller, virkemidler, markedsdesign osv. Denne kunnskapen senker kostnadene ved klimapolitikken for landene som kommer etter, siden de lettere kan utforme

en effektiv politikk. Det kan også være lettere å få sosial aksept for reformer som fremmer effektiv ressursbruk (jamfør fjerning av subsidier til fossil energi og innføring av rushtidsavgifter) når andre land har gått foran.

- Det at noen land gjør en ekstra innsats kan også *inspirere* andre land til å øke sin innsats. Det er mye som tyder på at politikk i noen grad smitter. Et lands politikk påvirkes åpenbart av dets økonomiske interesser, men kan også bli påvirket av andre motiv og en global ansvarsfølelse. Mye av den faktiske klimapolitikken vi observerer kan vanskelig forklares *kun* med økonomisk egeninteresse. Mange vil handle ut fra et moralsk ansvar for fremtiden. Samtidig er det sannsynligvis lettere å appellere til et moralsk ansvar når flere andre land også gjør noe. Mange av landene som gjør frivillige klimatiltak ville kanskje droppet dem hvis de var det eneste landet som gjorde noe.

Disse erkjennelsene er viktige: *At økt innsats i ett land får andre til å gjøre mer, er et godt argument for å øke innsatsen.* Hvis for eksempel økt innsats fra vårt land nå – via mekanismene over – gir en like stor økning i utslippsreduksjoner i andre land, har vår innsats dobbelt så stor klimaeffekt.

Danmark var en pioner i utviklingen av vindkraften. Utslippsreduksjonen ved at Danmark har fremskyndet utviklingen av vindindustrien med en del år, kan alene – over tid – være mange ganger større enn Danmarks samlede utslipp av klimagasser.

Som vi har sett i kapittel 5.6 lærer mennesker og institusjoner langsomt, også når man har en *utvetydig egeninteresse* av å endre adferd, og noen vil av ulike grunner lære langsommere enn andre. Når noen land eller delstater er tidlig ute og utvikler gode institusjonelle løsninger og billigere teknologi for utslippskutt, blir det lettere for etterfølgerne å gjøre raske kutt i sine utslipp når de forstår behovet for omstilling.

Utslippene utenfor OECD vokser raskt på grunn av stor økonomisk vekst. Kina har nå høyere utslipp per innbygger enn EU. EUs utslipp av klimagasser utgjør mindre enn 10 % av de globale utslippene. Noen har på den bakgrunn påpekt at selv om EU kutter sine utslipp til null, kan globale utslipp fortsette å vokse. Teknisk sett er dette utsagnet riktig, men man kan si det samme om Kina, USA, India og ethvert annet land. For at vi skal komme i mål må alle land med – om enn i ulike tempo.

Utslippsreduksjoner i EU er naturligvis viktige. Men kanskje blir EUs viktigste rolle å fungere som et forbilde ved å utvikle gode modeller for omstilling av samfunnet og spesielt energisektoren, og ved å videreutvikle klimateknologier som andre kan bruke senere. Danmark var viktig for vindkraften. Tyskland og noen andre land har hatt en svært viktig rolle med å få ned kostnadene for solpaneler. Nå ekspanderer disse teknologiene globalt. EU som helhet kan bidra med modeller for samarbeid og markedsintegrasjon innen energi, og på en rekke andre områder. Som læremester kan selv små land bli store. Likevel er det selvfølgelig ønskelig å etablere internasjonalt samarbeid for å fremskynde utviklingen av kunnskap og bringe kostnader raskere ned.

6.1.2 En strategi som både satser på teknologiutvikling og utslippskutt er mer robust

For å lykkes med klimapolitikken er det nødvendig å arbeide både for forpliktende avtaler om kutt i utslipp, og for et ambisiøst internasjonalt samarbeid for å utvikle teknologi og annen relevant kunnskap. I debatten om internasjonale avtaler har det

vært mye oppmerksomhet på utslippsbegrensninger og trolig for lite oppmerksomhet på behovet for en radikal opptrapping av arbeidet med å utvikle nødvendig teknologi og kunnskap.

Kanskje har noen – både økonomer og andre – tenkt at *dersom* vi får på plass bindende avtaler som effektivt begrenser utslippene og synliggjør kostnadene ved utslipp ved en høy karbonpris, vil dette sørge for den nødvendige teknologiutviklingen. Det er to utfordringer knyttet til en slik strategi:

- Det er vanskelig å få til en *ambisiøs og bindende* avtale om utslippskutt, særlig hvis den nødvendige teknologien for å kutte utslippene ikke finnes eller hvis den er veldig dyr.
- Karbonprising er ikke det mest effektive virkemiddelet for teknologiutvikling. En bindende internasjonal avtale om utslippskutt, og en eventuell felles karbonpris, gir ikke tilstrekkelig innsats for utviklingen av teknologi og annen kunnskap. (Se kapittel 3 og 5.)

En strategi som både fremmer et ambisiøst teknologisk og kunnskapsmessig samarbeid og forpliktende utslippskutt vil være mer robust enn en avtale som kun vektlegger utslippskutt. Jeffrey Sachs, som er professor i bærekraftig utvikling, kjent spaltist og spesialrådgiver for FNs generalsekretær, har tatt til orde for mye sterkere fokus på utvikling av nye teknologiske løsninger:

“The world needs a concerted push to adopt to low-carbon electricity, not another “us-versus-them” negotiation. All countries need new, low-carbon technologies, many of which are still out of commercial reach. Climate negotiators should therefore be focusing on how to cooperate to ensure that technology breakthroughs are achieved and benefit all countries.

They should take their cue from other cases in which government, scientists, and industry teamed up to produce major changes. For example, in carrying out the Manhattan Project (to produce the atomic bomb during World War II) and the first moon landing, the US government set a remarkable technological goal, established a bold timetable, and committed the financial resources needed to get the job done. In both cases, the scientists and engineers delivered on time.

The example of atomic bombs might seem an unpleasant one, yet it raises an important question: If we ask governments and scientists to cooperate on war technology, shouldn't we do at least the same to save the planet from carbon pollution?

In fact, the process of “directed technological change,” in which bold objectives are set, milestones are identified, and timelines are put into place, is much more common than many realize. The information-technology revolution that has brought us computers, smart phones, GPS, and much more, was built on a series of industry and government roadmaps.” (Sachs, 2014)

Det fremheves ofte, og med rette, at det er mulig å nå klimamålene med kjent teknologi. Det er for eksempel mulig å lage et kraftsystem uten karbonutslipp med dagens teknologi, men i mange land vil kostnadene ved dette bli *svært* høye. Også på mange andre områder vil alternativet til ambisiøs teknologiutvikling være dyre løsninger og/eller betydelig endret forbruksmønster. Endringer i livsstil er mulig, og på noen områder er det sannsynlig at vi må gjøre slike endringer, men det er lettere å få flere land med på en ambisiøs klimapolitikk dersom kostnadene og kravene til omstilling er lavere.

Fristelsen til å fornekte klimaproblemet eller å bruke andre argumenter for å unndra seg ansvar blir mindre når kostnadene ved omstilling synker. Ved tilstrekkelig kostnadsfall vil en del klimatiltak blir *kommersielt lønnsomme* i mange land, også uten en klimapolitikk. En videre kostnadsreduksjon for solpaneler vil for eksempel gjøre dem lønnsomme i større omfang og i flere områder.

6.1.3 Allianser av land med gjennomføringsevne og eget behov for nye løsninger

En koordinert anstrengelse for å utvikle nye løsninger kan være avgjørende for å lykkes med klimapolitikken. Men hvordan skal man få til en slik satsing? Vil ikke gratispassasjerproblemet være like stort på dette området?

I de fleste land er energi- og klimapolitikken utformet for å ivareta mange ulike hensyn. Blant disse hensynene finner vi ønsker om å styrke nasjonalt næringsliv og sysselsetting, redusere importregningen for fossil energi, redusere lokale miljøproblemer og å øke forsynings sikkerheten for viktige energivarer.

For å styrke forsynings sikkerheten ønsker mange land å begrense importavhengighet for olje og gass ved å utvikle nasjonale energiresurser. I EU har krisen i Ukraina og en økende russisk nasjonalisme blitt et argument for sterkere satsing på bl.a. energieffektivisering og fornybar energi. Denne satsingen vil redusere importen (EU importerer årlig fossil energi for €400 milliarder) og gi flere arbeidsplasser. For noen land er det også et motiv å være tidlig ute med fremtidsrettet industri som kan få god lønnsomhet når flere land etter hvert må starte sin omstilling. I noen land er ønsker om å utvikle alternativer til kjernekraft også et viktig motiv for å satse på nye løsninger.

I mange områder og særlig i storbyer i fremvoksende økonomier er luftforurensning fra kullkraftverk og trafikk en alvorlig trussel mot liv, helse og velferd. Dette problemet er en viktig drivkraft for å endre energisystemet i Kina og i en del andre land. Når storbyer vokser blir luftforurensning et større problem fordi mer aktivitet gir større utslipp i samme område og fordi utslippene rammer flere mennesker. I tillegg til at problemet blir større, vil økonomisk vekst øke viljen til å prioritere tiltak mot luftforurensning. Alt dette tilsier en sterkere innsats mot luftforurensning i slike områder i fremtiden.

Når ulike nasjonale mål påvirker politikktutforming er det ikke overraskende at en del av tiltakene ikke fremstår som kostnadseffektive i et *rendyrket* klimaperspektiv. Men det er økonomisk effektivt at man tar hensyn til alle eksterne effekter, og det er legitimt og økonomisk rasjonelt for et land å sikre energiforsyningen mot avbrudd i krisetider.

Det er i stor grad politikk basert på sammensatte motiv som har gitt oss de spirene vi har i dag til løsninger på klimautfordringen.⁴⁸ Ulike nasjonale interesser kan fungere som et viktig *tilleggsmotiv*, og få land til å gjennomføre omlegginger og teknologiutvikling som de neppe ville gjort hvis de kun var opptatt av global

⁴⁸ Et eksempel: Lille Danmark har fra 70-tallet vært en viktig pioner for å utvikle vindkraften til det teknologiske nivået denne industrien har i dag. Satsingen var bl.a. motivert av et ønske om å begrense importavhengigheten for fossil energi. Danmark hadde på 70-tallet kraftverk basert på importert olje. Prissjokket ved oljekrisene og opplevelsen av at forsyningene av fossil energi faktisk *kan* svikte, har trolig vært et viktig mentalt bakteppe for dansk energipolitikk. Etter hvert ble det også et mål å stimulere egen vindindustri og dennes eksportmuligheter. I tillegg kommer et oppriktig engasjement for å begrense global oppvarming.

oppvarming. På noen områder vil flere land ha sammenfallende interesser. Det kan brukes til å stimulere samarbeid for å få raskere og mer omfattende gjennomslag for nye løsninger. Her er noen eksempler på mulige allianser:

- Land som er avhengig av å importere mye fossilt brensel, spesielt olje og gass, deler bekymringen for høye importkostnader og forsyningsikkerheten.⁴⁹ Disse landene har derfor klare felles interesser av å utvikle billige alternativer til fossil energi. De store importørene, som USA, EU, Kina og Japan har mye av verdens industrielle og forskningsmessig kapasitet, og har derfor gode muligheter til å utvikle alternative energikilder.
- Land med store forurensningsproblemer knyttet til biltrafikk har felles behov for transportløsninger som ikke gir skadelige avgasser. Elektrifisering av transportsektoren kan da være et viktig virkemiddel, særlig hvis det kombineres med tiltak for å få ned utslippene fra kraftproduksjon (kullkraft). Man vil bl.a. ha interesse av å utvikle bedre batterier og hydrogenløsninger (brenselceller, lagringstanker, elektrolyse). Man kan også ha felles interesser på en rekke andre områder knyttet til utvikling av infrastruktur, for eksempel trådløs lading av batterier i elektriske busser på holdeplasser.
- Land med kaldt klima og betydelig oppvarmingsbehov for bygg har en felles interesse av at det utvikles billigere og mer effektive tiltak for energieffektivisering i bygg, mer effektive og billigere varmepumper, systemer for utnyttning av solvarme der det er egnet osv.
- Land med varmt klima og høy velstand har en felles interesse av å utvikle mer energieffektive anlegg for aircondition og andre løsninger som reduserer energibruk og kostnader ved kjøling.
- Land med store ressurser av kull eller gass kan ha en felles interesse av å utvikle teknologien for fangst og lagring av CO₂.

På noen områder kan interessene være overlappende. Tiltak for å elektrifisere transportsektoren erstatter olje med kraftproduksjon. Dermed reduseres importbehovet for olje. Hvis man dekker det økte kraftbehovet med kjernekraft, fornybar kraft eller gasskraft, vil lokale miljøproblemer bli ytterligere redusert.

Når noen typer teknologiutvikling gir klare nasjonale fordeler for et land i tillegg til å begrense global oppvarming, vil landet være villig til å øke innsatsen. Land med spesielle behov og interesser kan derfor ha en viktig rolle i utviklingen av nye løsninger.

Tysklands beslutning om å avvike kjernekraften illustrerer hvordan det *politiske klimaet* i et land også kan ha betydning som drivkraft. Selv om nedleggelsen av kjernekraft *kan* gi høyere utslipp av CO₂ i Europa i en del år, er det likevel mulig at beslutningen på lang sikt vil bidra til *lavere globale CO₂-utslipp*: Tyskland har gitt seg selv den krevende oppgaven å få ned CO₂-utslippene samtidig som man skal avvike kjernekraften. Det forutsetter en enda sterkere satsing på fornybar energi og energieffektivisering. Tyskland har investert mye prestisje – politisk og på andre måter – i å lykkes med denne omstillingen. Den tyske energiomleggingen har gitt og

⁴⁹ EU, USA, Kina, Japan, India og Sør-Korea er alle store importører av olje. I USA vil trolig økende ukonvensjonell oljeproduksjon etter hvert redusere nettoimporten.

vil gi betydelige læringseffekter, både teknologisk og samfunnsmessig. Denne læringen vil være viktig for andre land som kommer etter. Den avgjørende testen for Tyskland kommer når man må trappe ned og etter hvert avslutte bruken av brunkull – en nasjonal ressurs som både gir tyske arbeidsplasser og store CO₂-utslipp.

Land som kan få en gevinst ved utviklingen av en ny teknologi, kan være villig å satse mer hvis man etablerer et forpliktende samarbeid. Det skyldes at gruppen samlet vil høste større gevinster av utviklingen enn ett enkelt land vil gjøre. Gratispassasjerproblemet begrenses når landene som høster det meste av gevinstene samarbeider.

Sammenliknet med klimaforhandlinger hvor alle land deltar, kan det være enklere å komme fram til en ambisiøs og gjennomførbar avtale med en mindre gruppe land som har en klar felles interesse av å utvikle konkrete løsninger. Samarbeidspartnerne kan variere avhengig av hvor kompetansen, mulighetene og egeninteressen er størst.

På mange områder eksisterer det allerede et omfattende internasjonalt samarbeid om FoU, nettopp fordi landene ser at man har felles interesser og kan oppnå mer ved å samarbeide. *Mitt poeng er at innsatsen bør trappes opp radikalt.* For å få det til må man forstå den store betydning teknologiutvikling og samfunnsmessig læring kan ha, både for å løse klimautfordringen og for å oppnå andre fordeler. For å få maksimal uttelling må innsatsen omfatte forskning og tiltak langs hele verdikjeden, og den bør også omfatte samfunnsmessig læring.

Man kan mobilisere ulike land til økt innsats ved å kombinere deres vilje til klimainnsats med deres egeninteresse. Det er i stor grad en slik kombinasjon av motiv som har drevet fram de løsningene som er utviklet til nå. Men man må sette dette mer i system, utvikle flere allianser og trappe opp innsatsen. Flere faktorer er gunstigere nå, sammenliknet med for 10-20 år siden: Det er mange flere land som har forskningsmessig og industriell kapasitet til å bære fram de nye løsningene, og erkjennelsen av alvoret i klimaproblemet er større.

6.2 Karbonlekkasje, kostnadseffektivitet og teknologiutvikling

Når en gruppe av land gjennomfører klimatiltak kan noen av tiltakene bidra til økte utslipp i andre land. Dette kalles karbonlekkasje. Faren for karbonlekkasje har betydning for hva som er den mest effektive utformingen av virkemidler i klimapolitikken. Også på dette området kan hensynet til teknologiutvikling og annen læring spille en viktig rolle.

6.2.1 Utfordringene med karbonlekkasje i industrien

Dette problemet er først og fremst relevant for *energi- og utslippsintensiv industri som konkurrerer på verdensmarkedet*. Hvis en gruppe land innfører en høy generell karbonpris, vil det svekke den internasjonale konkurransevnen til denne typen industri i de berørte landene. Det skyldes at energiprisen blir høyere på grunn av karbonprisen og at industrien må betale for egne utslipp. Over tid kan industrien bli flyttet til land uten en karbonpris. I verste fall kan utslippsøkningen i andre land være større enn det opprinnelige utslippskuttet. Det kan skje hvis bedriftene som

blir nedlagt har relativt lave utslipp og erstattes av bedrifter med høyere utslipp per produsert enhet. (Ofte vil land som innfører strengere klimareguleringer allerede ha en historie med miljøkrav og dermed en renere industri enn land med svakere regulering.)

6.2.2 Når målet er globale utslippsreduksjoner, må man ta hensyn til karbonlekkasje

La oss starte med et enkelt regnestykke og enkle forutsetninger: Vi skal bruke karbonprising som virkemiddel og spør hvordan karbonprisen eventuelt bør justeres for en industri som er eksponert for karbonlekkasje. Anta at ett tonn redusert utslipp i landene som omfattes av karbonprisen vil føre til 0,6 tonn økte utslipp i andre land. Hvert tonn som kuttes på grunn av karbonprisen vil dermed gi en global *netto* reduksjon på 0,4 tonn. Hva er da en kostnadseffektiv karbonpris for denne industrien?

Hvis vi kun er opptatt av utslippsreduksjonen innen det regulerte området spiller karbonlekkasje ingen rolle, og det er kostnadseffektivt med lik karbonpris. Men er det egentlig noen god grunn til å ha et slikt mål, og ignorere utslippsvirkningen globalt, når det som teller for klimaet er globale utslipp?

Hvis målet er globale utslippsreduksjoner, er svaret at det vil være kostnadseffektivt (med våre foreløpige og litt forenklete forutsetninger) å gi den aktuelle industrien en karbonpris som er 40 % av karbonprisen vi bruker for tiltak som ikke medfører karbonlekkasje. Da vil ett tonn reduksjon i *globale* utslipp innen den aktuelle industrien bli verdsatt like høyt som ett tonn reduksjon i utslipp andre steder i gruppen av land med karbonpris, og et effektivt marked vil gjennomføre de billigste tiltakene.

6.2.3 Vi kan oppnå mer med smartere virkemidler

Resonnementet over var for enkelt. Det tok ikke hensyn til læringseffekter som kan stimuleres med andre virkemidler enn karbonprising og det tok heller ikke hensyn til virkningen tiltakene kan ha på andre lands vilje til å påta seg klimaforpliktelser.

For en energi- og utslippsintensiv industri som lager produkter man vil trenge i en bærekraftig verdensøkonomi, for eksempel aluminium og silisium, er det sentrale målet å *utvikle produksjonsteknologier som får ned utslippene per produsert enhet og som øker energieffektiviteten*. Det kan vi stimulere med en egnet utforming av virkemidler.

Utvikling og utprøving av ny teknologi i industrien er ofte knyttet til nyinvesteringer eller store reinvesteringer. Slike investeringer vil ikke industrien gjennomføre hvis den ikke har tro på at de langsiktige rammevilkårene blir akseptable. Trusler om høye karbonpriser i de samarbeidende landene (for eksempel EU) og fravær av andre incentivmekanismer, kan i verste fall svekke innovasjonstakten i industrien.

Når det er risiko for karbonlekkasje, bør vi velge et sett av virkemidler som stimulerer til utslippskutt og teknologiutvikling uten å øke det samlede kostnadsnivået for industrien. *Nøkkelen er å bruke både gulrot og pisk*. Her er noen eksempler på mulige virkemidler:

- Man kan kombinere gunstige økonomiske rammevilkår med bindende avtaler om langsiktige reduksjoner i utslipp og forbedret energieffektivitet. Dette kan for

eksempel skje i et forpliktende samspill med forskningsmiljøer og knyttes til mål om bestemte forbedringer i teknologi og praksis. Lån og støtte til utvikling og utprøving av nye løsninger kan være en del av virkemidlene.

- Man kan lage mekanismer som belønner de bedriftene som er bedre enn gjennomsnittet i bransjen (i landene som samarbeider om klimapolitikk) og straffer de som er dårligere. Slik gir man et generelt incentiv til forbedring uten å øke det totale kostnadsnivået for bransjen. I et system med utslippskvoter kan utdeling av gratiskvoter brukes, eventuelt sammen med andre virkemidler.
- Hvis klimapolitikken kombinerer karbonprising, støtte til energieffektivisering og utbygging av fornybar energi, vil man få et lavere prisnivå på kraft enn hvis man kun bruker karbonprising for å nå et gitt utslippsmål. (EU 2020-mål fungerer på denne måten.) Et lavere prisnivå reduserer risikoen for karbonlekkasje, men dette prisnivået vil også gjelde for forbruk som ikke er eksponert for karbonlekkasje. Det kan være mer effektivt å ha en høyere karbonpris som gir tydelige prissignaler i kraftmarkedet, og utvikle spesielle virkemidler som skjermer den utsatte industrien fra kostnadsvirkningene av klimapolitikken.

Andres lands vilje til å påta seg klimaforpliktelser kan bli påvirket på to måter

- Hvis en større gruppe samarbeidende land øker kostnadene for sin energi- og utslippsintensive industri ved karbonprising, kan en del av de økte kostnadene bli overvæltet i verdensmarkedsprisen til varen. Det blir dermed mer lønnsomt for andre land som produserer varen å stå utenfor klimasamarbeidet. Denne effekten er kanskje ikke så stor, men det er uansett ønskelig å unngå den. Det kan man gjøre ved å bruke virkemidler slik jeg beskrev over.⁵⁰
- En teknologipolitikk som gjør det enklere og billigere å redusere utslippene og energibruken i industrien, kan bidra til at flere land blir med i klimaavtaler, og at avtalene blir mer ambisiøse. I de gunstigste tilfellene hvor nye løsninger med lavere utslipp blir billigere enn de gamle og forurensende, kan forbedringene også bli spredd til land som ikke er med på en klimaavtale.

6.2.4 Vi må ta faren for karbonlekkasje på alvor

Karbonlekkasje i industrien er først og fremst et problem knyttet til energi- og utslippsintensive næringer. Likevel er dette viktig. Klimapolitikken blir mer kostnadseffektiv og mer virkningsfull når vi tar hensyn til faren for karbonlekkasje.

Jeg har foran antydnet noen muligheter for å håndtere utfordringene med karbonlekkasje. Dette er virkemidler som til en viss grad er i bruk allerede. Gjennom forskning og utprøving er det mulig å forbedre forståelsen av hva som gir best resultat. Vi trenger læreprosesser også på dette området.

⁵⁰ Noen har også foreslått å bruke importavgifter for varer som ikke har vært laget med tilsvarende miljø- og klimakrav som en gruppe samarbeidende land selv bruker. Som navnet *importavgift* indikerer, er dette først og fremst et aktuelt tiltak for utslippsintensive produkter som de samarbeidende landene er netto importør av.

OPPSUMMERING – KONKLUSJONER

7.1.1 Klimapolitikk er et ombyggingsprosjekt og en global læreprosess

Utslippene av klimagasser må kuttes til nær null (og kanskje bli negative) ved slutten av dette århundret. Klimapolitikken må vurderes i lys av de langsiktige målene og behovet for å utvikle ny teknologi, nye organisasjonsmodeller og en ny forståelse i befolkningen.

Noen viktige klimateknologier har gjort store fremskritt, men skal vi lykkes må det utvikles mange nye løsninger. Dette krever en radikal opptrapping av teknologiutvikling og av samfunnsmessig læring knyttet til organisering og virkemiddelbruk.

Vi må skape et energisystem som både er utslippsfritt og robust. For å få bred tilslutning til omstillingen bør også kostnadene være moderate.

Det er feil å se på klimapolitikk som en serie av enkelttiltak i en statisk verden. Vi må se på klimapolitikk som et ombyggingsprosjekt og en global læreprosess. Fra dag til dag kan samfunnet virke uforanderlig. Men når vi ser noen tiår tilbake innser vi at teknologi, organisering og holdninger har endret seg betydelig.

7.1.2 To viktige utfordringer (markedsimperfeksjoner)

1. De som slipper ut klimagasser betaler (vanligvis) ikke for skaden de påfører andre.
2. De som utvikler nye klimaløsninger får kun en begrenset andel av gevinsten som dette gir for verdenssamfunnet. Kunnskap er i stor grad et kollektivt gode.

(I tillegg til de to overordnede markedsimperfeksjonene finnes det flere andre knyttet til virkemåten til ulike delmarkeder.)

Løsningen på den første markedsimperfeksjonen (1.) er å pålegge forbrukere, bedrifter og stater en tilstrekkelig høy utslippskostnad eller en utslippsbegrensning, slik at de aktivt reduserer utslippene.

Den andre markedsimperfeksjonen (2.) fører til at det utvikles for lite ny teknologi og for lite annen kunnskap som kan bidra til utslippskutt. Klimaproblemet er globalt og veldig langsiktig. Varigheten gir oss tid til å utvikle mye kunnskap. Alvoret og

problemets globale karakter gjør at utvikling av bedre kunnskap er svært lønnsomt for verdenssamfunnet.

Land og grupper av land kan stimulere teknologiutvikling og annen læring ved omfattende forskningsprogrammer og ved å starte utbygginger som stimulerer innovasjon og skalagevinster. Erfaringen fra utvikling av sol- og vindkraft og en rekke andre teknologier viser at man må skape markeder for de nye løsningene for å stimulere innovasjon i hele verdikjeden og utløse kostnadsfall ved industriell (storskala) produksjon. Ved en gradvis økning i produksjonen opplever mange produkter et stort kostnadsfall, men det kan ofte kreve mange års utvikling før produktene blir konkurransedyktige med etablerte løsninger. Likevel kan en slik kunnskapsutvikling gi høy lønnsomhet for verdenssamfunnet fordi løsningene kan anvendes av så mange og få betydning i svært mange år.

Det er viktig at klima- og energipolitikken er framsynt og allerede nå starter utviklingen av løsninger som vi vil trenge i stort omfang etter 2030.

Siden land som finansierer kunnskapsutvikling kun høster en begrenset del av gevinsten, er ikke alle problemer løst ved at myndighetene i hvert land tar tak i utfordringen. To faktorer kan bidra til å løfte innsatsen til et ønskelig nivå:

1. Hvis grupper av land med industriell og forskningsmessig kapasitet deler på satsingen i et spleiselag, kan det være lettere å mobilisere den nødvendige innsatsen. Som gruppe vil de samarbeidende landene høste en mye større andel av nytten enn det ett land kan gjøre.
2. I mange tilfeller har land egeninteresse av å utvikle spesielle løsninger som både fremmer klimamål og andre mål. (For eksempel å redusere lokale forurensningsproblemer.) Allianser av motiverte land kan være svært effektive, selv om de kun omfatter de 2-4 viktigste landene på området. Det at ikke alle land må med kan forenkle forhandlinger og samarbeid.

Økt innsats for kunnskapsutvikling gjør det billigere å senke utslippene. Det vil i neste omgang senke terskelen for å delta i forpliktene klimapolitikk. Når noen løsninger blir så billige at de er lønnsomme også uten en klimapolitikk, ligger det spesielt godt til rette for at alle etter hvert tar dem i bruk. Men det beste er selvsagt at man får gjennomslag for en ambisiøs global klimapolitikk, slik at de utslippsreducerende løsningene tas i bruk i alle land før de er så billige.

7.1.3 Vi lærer langsomt

Erfaringen viser at vi mennesker lærer langsomt, både som individer og som samfunn. Men vi tar lettere opp nye ideer når andre har vist at de fungerer. Som eksemplene med subsidier til fossil energi og veiprising viser, kan det ta mange år å utvikle en politikk som fremmer kostnadseffektive løsninger. Når noen går foran og prøver ut nye løsninger, kan andre senere lære av dem. Det er lettere å argumentere for reformer når man kan vise til at de fungerer godt andre steder. Pionerene senker kostnadene for de som kommer etter. *Suksess avler suksess.*

Det at vi lærer langsomt betyr også at vi som samfunn er for sene med å ta klimautfordringene på alvor og handle adekvat. Dette har implikasjoner for hva som er den beste strategien.

- *Når mange er sene med å reagere, er det desto viktigere at noen starter tidskritiske prosesser med utvikling av nye teknologier og andre verktøy for utslippsreduksjoner. Når flere etter hvert blir klar for handling, er verktøyene lettere tilgjengelig.*
- *Når klimautfordringen etter hvert synker dypere inn i folks bevissthet, kan det bli enklere å få aksept for høye karbonpriser og andre virkemidler som også stimulerer adferdsendringer.*

7.1.4 Ombyggingen av energisektoren må ha et langsiktig perspektiv

Reduksjon i utslipp og energibruk er ofte knyttet til utskifting av realkapital. Når vi bygger nye bygg, kraftverk eller transportløsninger, eller rehabiliterer dem, må vi velge løsninger som er forenlige med at utslippene skal ned mot null på lang sikt. Investeringer som binder oss til høye utslipp i mange år, vil øke kostnadene ved fremtidige utslippsreduksjoner siden det er dyrt å skifte ut infrastruktur før levetiden er utløpt.

Samtidig som sol- og vindkraft forbedres ytterligere, er det behov for ny utslippsfri kraftproduksjon som kan sikre forsyningen når det er vindstille og sola har gått ned. Det er behov for flere typer utslippsfri kraft, økt fleksibilitet i kraftforbruk og produksjon, bedre løsninger for lagring av kraft og energi, et sterkere nett og gode markedsløsninger slik at ressursene kan bli effektivt utnyttet på tvers av land og sektorer. Alt dette krever langsiktig planlegging, samordning og utvikling av ny kunnskap, inkludert aksept av de nye løsningene i befolkningen.

Omfattende elektrifisering i varme- og transportsektoren er viktig, både for å fremme en robust energiforsyning og for å få ned utslippene ved all energibruk: Samtidig som utslippene i kraftsektoren senkes ved utbygging av utslippsfri (fornybar) kraftproduksjon, må man i økende grad ta elektrisitet i bruk i varme- og transportsektoren for å erstatte fossil energi. Disse sektorene kan kjøpe store mengder kraft når det er overskudd, og i noen grad levere kraft til nettet når det er stor knapphet. Slik bidrar elektrifiseringen både til å stabilisere kraftsystemet og til å redusere utslippene.

Skal vi nå målene om utslippsreduksjoner på en kostnadseffektiv måte og i tide, må elektrifiseringen av varme- og transportsektoren skje parallelt med at utslippene senkes i kraftsektoren. Energieffektivisering, bioenergi og utslippsfri kraft (inkludert hydrogen) er verktøyene for å få bort utslippene i varme- og transportsektoren.

Selv om man kan se en klar retning for utviklingen av energisystemet, er det stor usikkerhet om hvilke teknologier som vil ha størst fremgang, og hva som er mest lønnsomt på lang sikt. Det er viktig å planlegge langsiktige investeringer i lys av usikkerheten, men samtidig kan stor usikkerhet føre til at investorer blir for avventende. Vi kommer ikke i mål hvis alle venter på alle. Det er viktig at myndighetene gir tydelige styringssignaler slik at vi unngår unødig venting.

7.1.5 Karbonprising er viktig, men må suppleres med andre virkemidler

Karbonprising virker både ved å redusere utslipp fra produksjonen i hele verdikjeden, og ved å endre forbruksmønsteret slik at produkter som gir høye utslipp kan erstattes av produkter med lavere utslipp. Karbonprising kan også til en viss grad stimulere innovasjon. Men karbonprising har flere begrensninger som gjør at vi

trenger andre virkemidler i tillegg for å realisere en virkningsfull og kostnadseffektiv klimapolitikk.

- *Karbonprising gir ikke nok kunnskapsutvikling fordi kunnskap i stor grad er et kollektivt gode.* Karbonprisen er et generelt virkemiddel og kan ikke skille mellom modne teknologier uten særlig læringspotensial og teknologier med stort potensial for læring og kostnadsreduksjoner. Denne svakheten er generell og gjelder derfor også i en ideell verden med en global karbonpris, perfekte markeder og rasjonelle myndigheter.

Når målet er å utvikle spesifikke teknologier, som for eksempel offshore vindkraft, er karbonprising upresist og uegnet. Direkte støtte til de teknologiene man ønsker utviklet kan gi tilstrekkelig lønnsomhet til at utbyggingen kommer i gang. Samtidig kan støtten justeres ned for nye anlegg etter hvert som kostnadene faller. Man kan også bruke auksjoner. Slike virkemidler gir større sikkerhet for investorene og større fleksibilitet for myndighetene.

- *Høye avkastningskrav i næringslivet gir utfordringer.* Det er grunn til å bruke et relativt lavt avkastningskrav når man skal vurdere klimatiltak, kanskje rundt 2-3 %. Næringslivet bruker mye høyere avkastningskrav og vil derfor respondere lite på karbonpriser langt fram i tid. Vi trenger virkemidler som kompenserer for dette, for eksempel støtte til utbygging av fornybar energi.
- *Regulatorisk usikkerhet om fremtidige karbonpriser* (eller om andre støtteordninger) svekker næringslivets vilje til å satse langsiktig. Høy tillit er avgjørende for at karbonprisen skal fungere som et instrument for langsiktig omstilling. Det dramatiske fallet i kvotepreisen i EU (EU ETS), illustrerer usikkerheten som kan følge med et kvotemarked. Et system med minstepris på kvoter gir mindre usikkerhet. Redusert usikkerhet gir mer stabil omstilling og ombygging. Det senker kostnadene.
- *Når kun noen land bruker karbonprising* kan energi- og utslippsintensiv industri i landene med karbonprising bli nedlagt og erstattet av tilsvarende (og kanskje mer forurensende) industri i land uten en tilsvarende klimapolitikk. Når en industri lager produkter som vi trenger i en verden som skal nå togradersmålet, bør det viktigste målet være å stimulere industrien til å utvikle nye løsninger med vesentlig lavere utslipp og energibruk. Det kan man oppnå ved å bruke et sett av virkemidler som støtter innovasjon og belønner reduksjon i utslippene uten å svekke bransjens internasjonale konkurransevne.
- *Flere faktorer kan bidra til at karbonprisen blir lavere enn det som er ønskelig.* Slike faktorer kan for eksempel være fare for karbonlekkasje, bekymring for fordelingsvirkninger eller skattekonservatisme. Når karbonprisen ikke kan løftes så høyt som ønskelig, bør man supplere med andre virkemidler for å oppnå et best mulig resultat. Eksempler på andre virkemidler er støtte til utslippsfri energi, ekstra tiltak for å fremme energieffektivisering eller direkte reguleringer, som forbud mot nye kullkraftverk eller krav om nedleggelse. Når karbonprising begrenses av forbigående faktorer som skattekonservatisme, kan man både jobbe for å styrke supplerende virkemidler på kort sikt og for at karbonprisen skal økes over tid.

7.1.6 Seks momenter for effektiv og nødvendig innovasjon

(1) *Markeder har begrenset evne til å løfte langsiktig teknologiutvikling.* Mariana Mazzucato har vist hvor stor betydning langsiktig og ambisiøs offentlig finansiert forskning har hatt for utviklingen av teknologier innen IKT og medisin. Når man skal utvikle radikalt nye løsninger, er det ofte behov for tung offentlige satsing fordi næringslivet har for kortsiktig perspektiv og for høye avkastningskrav. Næringslivet kan spille en viktig kreativ rolle med å utvikle nye produkter og løsninger, men dette vil ofte skje i en kontekst hvor man relativt raskt kan høste resultater, for eksempel fordi myndighetene har skapt etterspørsel etter nye løsninger. Langsiktig offentlig finansiering av forskningsprogrammer utelukker ikke et konstruktivt samspill med berørte næringer gjennom hele prosessen.

(2) *Det er viktig å starte produksjon og implementering av nye teknologiske løsninger selv om de er dyre i starten.* Produksjon og bruk gir praktisk erfaring, bringer opp nye utfordringer og inspirerer til ytterligere forskning. Når produksjonen vokser stimuleres innovasjon i hele verdikjeden og man høster dessuten skalafordeler. Det at kostnadene ved solpaneler har falt 99 % på 35 år og kan falle ytterligere, skyldes både forbedringer i selve solcelleteknologien og forbedringer i alle ledd i verdikjeden, inkludert strømlinjeforming av produksjon og montasje. Man hadde neppe oppnådd den store fremgangen hvis ikke noen land, særlig Tyskland, hadde gått i spissen og utviklet markedet for solpaneler.

(3) *Man må fremme bred samfunnsmessig læring knyttet til overordnet klimapolitikk og bruk av virkemidler.* Både markedsdesign og utforming av virkemidler, institusjoner og politikk skjer i en læreprosess, i et samspill mellom teori og praksis. Dette samspillet påvirkes også av ulike interessegrupper og vår tendens til motstand mot forandring.

(4) *Ingen land vil akseptere svekket forsyningssikkerhet i kraft- og energiforsyningen.* Vi må derfor utvikle et sett av løsninger som er slik at energi- og kraftsystemet både kan bli utslippsfritt og robust. Dette krever et helhetlig og langsiktig perspektiv på systemutviklingen.

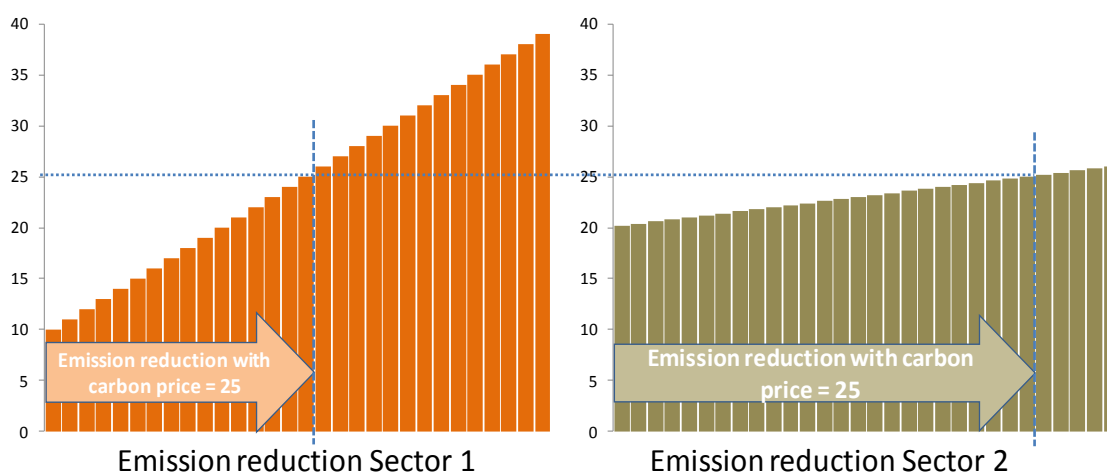
(5) *Det er viktig å vurdere hva slags utviklingsstrategier som kan gi lavest total kostnad.* Et viktig spørsmål er hva som er optimal balanse mellom rendyrket forskningsinnsats og utbygging med tilknyttet innovasjon. En annen utfordring er å få til utbygging først der støttebehovet er minst. Dette må veies mot tidstapet hvis områdene med de gunstigste forholdene nøler for lenge med å begynne. Det ville vært billigere å starte utbyggingen av solpaneler i et land med mer sol enn Tyskland, men det ville vært et tap om vi måtte vente lenge på at det skulle skje.

(6) *Læring og utvikling tar tid.* På en rekke områder er det viktig å utvikle ny kunnskap raskt slik at man kan spare kostnader senere, og unngå en kostbar utsettelse av klimatiltak. Samtidig er det viktig at man har tid til å høste erfaringer og forbedre løsningene før man bygger ut for mye. Disse momentene tilsier at det er viktig å starte tidlig med å utvikle løsninger som vi vil trenge om en del år. Dersom klimautfordringen viser seg å være mer alvorlig enn man nå tror, vil det ha stor verdi at man har startet tidlig med å utvikle de nødvendige verktøyene for å få ned utslippene.

Verken som individer eller som samfunn er vi vant til å tenke så langsiktig som vi må for å møte klimautfordringene. Nå må vi lære det.

VEDLEGG 1: MER OM KARBONPRISING

Virkningen av en lik karbonpris (og lik avgift/kvotepris ved en annen type miljøskadelig aktivitet) er illustrert i figur VI.1. Her ser vi på kostnadene ved utslippsreduksjoner i to sektorer. Hver søyle viser kostnadene for ett enkelt tiltak innenfor den aktuelle sektoren. Vi antar her at hvert tiltak gir like stor utslippsreduksjon. Tiltakene er sortert etter stigende kostnad fra venstre mot høyre.



Figur VI.1 Kostnader ved utslippsreduserende tiltak i to sektorer, og utslippsreduksjon ved karbonpris lik 25. Y-aksen viser utslippskostnad (karbonpris) og tiltakskostnader

Hvis et utslippsreduserende tiltak koster mindre enn karbonprisen, vil det være lønnsomt for bedriften eller forbrukeren å gjennomføre tiltaket. Figuren viser hvor omfattende reduksjoner man vil gjennomføre i hver av sektorene hvis karbonprisen er 25. Ved en høyere karbonpris vil begge sektorer redusere utslippene mer. Hvis karbonprisen kommer over 27 vil alle mulige utslippskutt i Sektor 1 bli gjennomført. Hvis karbonprisen derimot er under 20 vil det ikke skje noen utslippsreduksjon i denne sektoren.

Hvis det dyreste tiltaket som gjennomføres (det marginale tiltaket) i den ene sektoren koster mer enn et mulig tiltak i den andre sektoren, er det penger å spare ved å bytte dyre tiltak mot billigere tiltak. Hvis karbonprisen for eksempel var 40 i Sektor 1 og 22 i Sektor 2 ville samlet utslippsreduksjon i de to sektorene bli like stor som ved en lik karbonpris på 25, men kostnadene vil med dette tilfellet bli 17 % høyere i vårt eksempel. Det marginale tiltaket i Sektor 1 koster i dette eksemplet 40,

mens det marginale tiltaket i Sektor 2 kun koster 22. Ved å øke innsatsen i Sektor 2 og redusere den tilsvarende i Sektor 1, vil man spare 18 for det første byttet av tiltak ($40 - 22$). Deretter vil overføring av utslippskutt fra Sektor 1 til Sektor 2 gradvis gi mindre kostnadsbesparelse, inntil det ikke er mer å hente når det dyreste gjennomførte tiltaket i hver sektor har samme kostnad.

Resonnementene over gjelder for to *vilkårlige* sektorer. *Det betyr at vi har en kostnadseffektiv utslippsreduksjon når den marginale kostnaden ved utslippskutt er lik i alle sektorer og på tvers av land.* Det er ikke uten videre mulig å gjennomføre alle billige klimatiltak, for eksempel fordi noen land ikke vil delta i en avtale. Det er likevel et mål at man så langt som mulig bidrar til kostnadseffektiv gjennomføring av klimatiltak. Den beste tiltakspakken er kjennetegnet ved at den *er gjennomførbar* og minimerer kostnadene for et langsiktig reduksjonsmål.

Når man skal finne fram til den mest kostnadseffektive kombinasjonen av tiltak er det viktig å få med seg alle viktige eksterne effekter, ikke kun klimavirkninger. Andre viktige effekter kan være lokale og regionale miljøproblemer (negative eksterne effekter) og at kostnadene for umodne teknologier går ned som følge av økt utbredelse (positiv ekstern effekt). Man må også ta hensyn til at når ikke alle land samarbeider om klimapolitikken kan karbonprising få utslippsintensiv industri som konkurrerer på verdensmarkedet til å flytte til land uten karbonprising. Denne karbonlekkasjen fører til at like karbonpriser ikke gir en kostnadseffektiv reduksjon av globale utslipp. (Se mer om dette i kapittel 6.2.)

VEDLEGG 2: MANGE MULIGE LØSNINGER

I dette vedlegget gir jeg en oversikt over løsninger som kan bidra til *jevnere utslippsfri kraftproduksjon* og løsninger som kan gi *mer fleksibilitet*. Sammen med et sterkere nett mellom regioner og land, kan disse løsningene skape et robust og utslippsfritt kraft- og energisystem. Vedlegget utfyller særlig kapittel 4.2.

Målet med vedlegget er å synliggjøre

- *Bredden av mulige løsninger som kan utvikles*
- *Usikkerheten om hvilke løsninger som til slutt blir mest lønnsomme*
- *Behovet for FoU og støtte til omfattende utprøving og utbygging av nye løsninger*

V2.1 Utfordringene med variabel fornybar kraft

V2.1.1 Fossil kraft sikrer balansen i dag

I nesten alle kraftsystemer er det kull- og gasskraft som skaper balanse mellom forbruk og produksjon. Nesten alle utslippsfrie kraftkilder er mindre fleksible enn fossil kraft, og kraftproduksjon fra vind og sol varierer som kjent betydelig over tid.

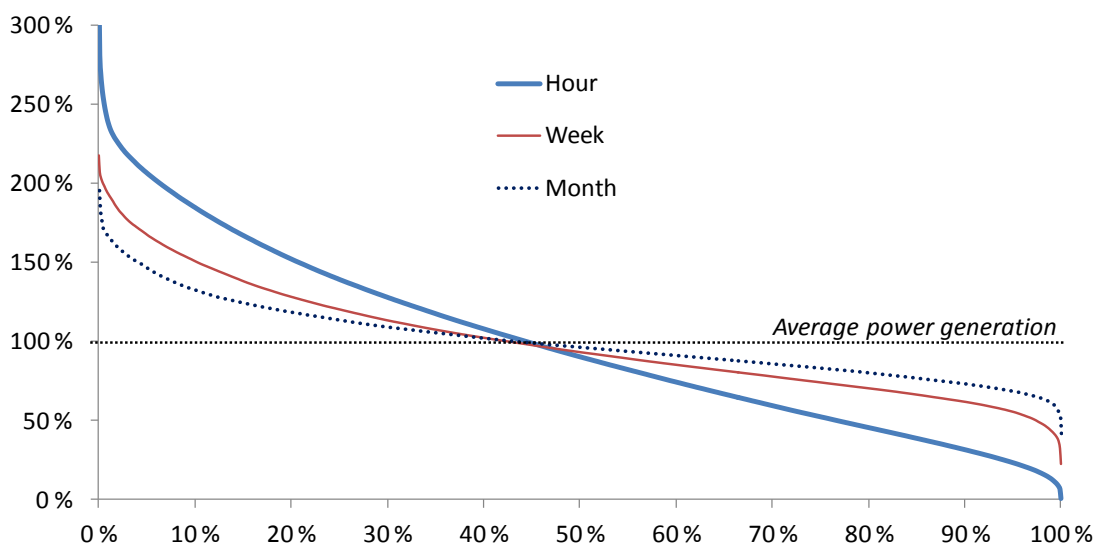
Det meste av kostnadene ved sol- og vindkraft er knyttet til investeringen, mens produksjonen av kraft er tilnærmet kostnadsfri. Slike anlegg vil derfor vanligvis produsere så mye kraft som været og installert kapasitet tillater.

De faste kostnadene ved kjernekraft er også høye, mens produksjonskostnadene er lave. Økonomien tilsier derfor at slike anlegg går relativt jevnt. Også kullkraftverk med karbonfangst og lagring vil ha høye faste kostnader. Hvis slike kraftverk skal ha mulighet til å bli lønnsomme, må de derfor produsere kraft – og tjene penger – det meste av tiden.

Av utslippsfri kraft er det solkraft og vindkraft som bygges ut raskest i Europa og mange andre steder i verden. Som vi har sett i kapittel 4.1. har kostnadene ved disse teknologiene falt betydelig, og det er sannsynlig at de vil falle ytterligere. Det er derfor naturlig å fokusere på de utfordringene en rask utbygging av sol- og vindkraft kan gi med hensyn til å nå klimamål, å sikre balanse mellom forbruk og produksjon og å begrense de totale systemkostnadene. Drøftingen nedenfor har dette som utgangspunkt, men den er også relevant for land som satser mer på kjernekraft.

V2.1.2 Betydelig variasjon i samlet produksjon fra sol- og vindkraft

Figur 4.3 viser hvordan samlet kraftproduksjon fra vindkraft og solkraft for det meste av EU/EØS-området kan variere over tid i et mulig fremtidig scenario.⁵¹



Figur V2.1 Variasjon i samlet produksjon fra vind- og solkraft i det simulerte området per time, uke og måned, sammenliknet med gjennomsnittlig produksjon (100 %).

Kilde: Statnett og Kjeller Vindteknikk

Figuren viser at det ikke bare er summen av sol- og vindkraft per time som varierer. Også summen *per uke* og *per måned* varierer betydelig. I simuleringen varierte årlig kraftproduksjon med +/- 14 % i forhold til gjennomsnittet.

Vi ser at det finnes timer hvor den totale kraftproduksjonen fra sol og vind i hele området er nesten null. Dette vil typisk være vindstille perioder om natten. Også på dagtid om vinteren mens kraftforbruket i Europa er høyt, kan man få perioder med minimale bidrag fra både sol- og vindkraft. Det vil også finnes uker og måneder hvor kraftproduksjonen er under halvparten av normalen.

Hvis man i simuleringen hadde tatt med Spania, Portugal og Balkan, eventuelt også land lenger øst eller i Nord-Afrika, ville man fått en noe større utjevning i produksjonsmønsteret fra vind- og solkraft, men fortsatt ville man finne perioder hvor sol og vindkraft yter relativt lite.

Ved å bygge et sterkere overføringsnett i Europa blir det mulig å utjevne en del av den lokale variasjonen i sol- og vindkraft. Man blir dessuten i stand til å utnytte lokale fornybarressurser bedre: Noen områder er mest egnet for solkraft, og det vil derfor være naturlig å bygge en større andel solkraft slike steder. Andre områder har spesielt gunstig forhold for vindkraft og kan bygge ut mye hvis man kan få

⁵¹ Figurene bygger på en simulering som er gjort med utgangspunkt i værforholdene fra 1950 til og med 2012. Disse landene er inkludert: Polen, Tyskland, Østerrike, Sveits, Tsjekkoslovakia, Italia, Frankrike, Belgia, Nederland, Storbritannia, Norge, Sverige, Danmark, Finland, Estland, Latvia og Litauen. Simuleringen ser på samlet kraftproduksjon fra PV og vindkraft i 2030, totalt 443 GW installert kapasitet. I porteføljen inngår 42 GW gammel vindkraft, 142 GW ny vindkraft, 62 GW offshore vindkraft og 197 GW med PV. Ny vindkraft produserer jevnere enn gammel vindkraft, og offshore vind produserer enda jevnere, fordi vindforholdene offshore er mer stabile. Kilde: Statnett og Kjeller Vindteknikk.

avsetning på kraftproduksjonen. Nytten av sammenkobling gjelder naturligvis også for annen variabel fornybar kraftproduksjon som vannkraft, bølgekraft osv. I det nordiske vannkraftsystemet kan den årlige tilgangen på vann (tilsigene) variere med +/- 25 %. Eksport av kraft gir god utnyttelse av kraften når man har store overskudd, mens import sikrer forsyning i år med lite nedbør og lokalt underskudd på kraft. Nytten ved utbygging av overføringskapasitet må naturligvis ses i forhold til kostnadene.

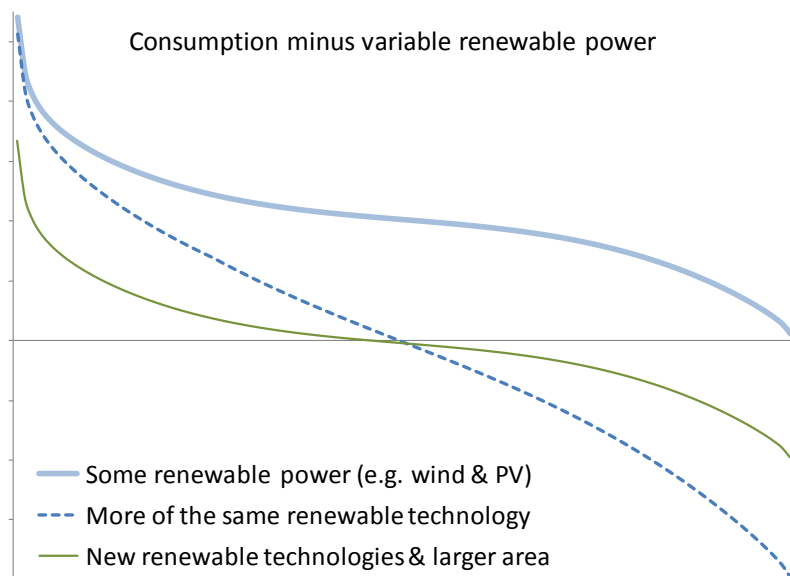
Det at samlet kraftproduksjon fra vind og sol varierer betydelig når vi ser på uker og måneder, betyr at det er behov for mange ulike løsninger for å balansere forbruk og produksjon. Mens et lokalt batteri eller flytting av forbruk i tid kan bidra vesentlig til å håndtere kortsiktige variasjoner, trengs det andre tiltak for å møte større og mer varige svingninger i tilgangen på kraft.

V2.1.3 Illustrasjon: betydningen av økt handel og en variert portefølje

Figur V2.2 viser en tenkt varighetskurve for forbruk minus variabel fornybar kraftproduksjon, med ulike nivåer på utbyggingen av fornybar energi. I utgangspunktet har man her en mindre utbygging av fornybar kraft. Heltrukket blå linje viser forbruket minus denne fornybare kraftproduksjonen. Figuren illustrerer to ulike måter å bygge mer fornybar kraftproduksjon på. I begge alternativene bygges det ut like mye utslippsfri kraft, til et nivå hvor samlet utslippsfri kraftproduksjon er lik samlet kraftforbruk.

I det første alternativet, illustrert med den stiplede kurven, bygger man *mer av det man har fra før, uten å koble sammen flere områder/land*. Den nye fornybare kraftproduksjonen vil da følge samme produksjonsmønster som eksisterende fornybar produksjonen. I dette tilfellet blir ikke behovet for fossil kapasitet for å dekke forbrukstopper nevneverdig redusert og halve tiden har man et stort kraftoverskudd som ikke utnyttes.

I det andre alternativet, vist med den grønne kurven, bygger man derimot ut ny fornybar kraft hvor produksjonsmønsteret ikke er så sterkt korrelert med den gamle produksjonen, og man kobler sammen større områder. Det beste er hvis den nye kraften er i *motfase* til den gamle, og aller helst bør den være fleksibel. Da blir kurven for forbruk minus utslippsfri kraftproduksjon flatere, som vist i figuren.



Figur V2.2 Betydningen av økt handel og en variert portefølje av utslippsfri kraft

Den flattere grønne kurven har like stor fornybar kraftproduksjon som den stiplede kurven, men den har en kraftproduksjon som er bedre tilpasset forbruket. (Det kan også være et poeng å ha et forbruk som er bedre tilpasset kraftproduksjonen – se nedenfor og kapittel 4.2). Dermed blir det mindre behov for reservekapasitet (for eksempel fossil kraft) og det blir også mindre spill av kraft, som vil skje hvis man ikke finner tilstrekkelig etterspørsel for kraftoverskuddet. I resten av dette vedlegget går jeg gjennom en rekke mulige løsninger og teknologier som kan hjelpe oss å skape balanse mellom kraftproduksjon og forbruk i et utslippsfritt kraftsystem. Jeg har delt bidragene i to hovedkategorier: *Bidrag til jevnere utslippsfri kraftproduksjon* og *Nye bidrag til fleksibilitet*.

V2.2 Bidrag til jevnere utslippsfri kraftproduksjon

Offshore vindkraft gir mer stabil kraftproduksjon enn onshore vindkraft, fordi vinden er mer stabil til havs. Det er dessuten en fordel å få inn vindkraft fra andre områder enn man kan hvis utbyggingen begrenses til landjorden. Men foreløpig er bunnfast offshore vindkraft vesentlig dyrere enn onshore vindkraft. Flytende offshore vindkraft er helt i startfasen og kan gi muligheter for kraftproduksjon i områder som har dypere vann og gode vindforhold. Slik kan denne teknologien kanskje utvide området hvor man kan bygge vindkraft. Det kan også tenkes at flytende vindturbiner kan bygges enda større enn bunnfaste anlegg, og at de på sikt kan gi billigere vindkraft enn dagens bunnfaste konsepter. Men vi er langt fra en slik situasjon i dag.

Kanskje kan vindturbiner som holdes høyt oppe i luften av en "smultring" (se bildet) fylt med helium⁵² i fremtiden gi



⁵² Bildet er hentet fra <http://www.altaerosenergies.com/> som står bak prosjektet og har mer informasjon.

billigere og jevnere kraftproduksjon, siden vinden er sterkere og mer stabil høyere opp. Slike løsninger og løsninger med flytende vindturbiner er i dag på det utviklingsstrinnet onshore vindkraft og solceller var for noen tiår siden, men det hindrer ikke at de *kan* bli viktige på lengre sikt.

Kraftproduksjon fra **tidevann** er forutsigbart og uavhengig av vær og vind, og kraft fra **osmose** (*saltgradienter*) og **havstrømmer** kan være helt stabil. Per i dag er disse løsningene lite utviklet. Kraft fra de nevnte kildene kan bli viktig i noen områder hvor ressurstilgangen er god. Også bølgekraft kan gi mer stabil kraftproduksjon enn vindkraft.

Elvekraft produserer ofte relativt jevnt innenfor et døgn eller noe lengre perioder, men varierer på lengre sikt med nedbør og sesong. Vannkraft med *magasin* kan spare vann når det er overskudd av annen kraftproduksjon og levere mer kraft når det er behov for det. (Se mer om det under fleksibel kraftproduksjon og lagring nedenfor.)

I land med gode solforhold kan **konsentrert solkraft** bidra til mer stabil kraftproduksjon enn solceller. Slike anlegg konsentrerer solstrålene ved mange speil og gir meget høy temperatur i en kjerne. Ved hjelp av varmen produserer man kraft med dampturbiner, ikke helt ulikt det man gjør i tradisjonelle termiske kraftverk. Siden det akkumuleres mye varme i kjernen kan anleggene fortsette å produsere kraft en stund etter at solen har gått ned, og de er også regulerbare på kort sikt. Spania er ledende på dette området med 2200 MW installert, og det ventes en videre vekst i flere land. Bedre varmelagre er under utvikling, slik at teknologien kan bli billigere og mer fleksibel. Saudi-Arabia er blant landene som vil satse mye på denne formen for solkraft. Her har man planlagt å bygge 25 GW konsentrert solkraft (og 16 GW PV) innen 2032.

Geotermisk kraft bruker høytemperatur varme fra grunnen til å produsere varmekraft. Slik kraftproduksjon har vært konkurransedyktig i mange år i områder med tynn jordskorpe (såkalte hot spots), dvs. der hvor temperaturen i grunnen stiger raskt med økende dybde. Disse kraftverkene kan produsere jevnt, og de har også en viss evne til å regulere produksjonen.

Kostnadene ved dyp boring har sunket en god del, særlig på grunn av teknologiutvikling knyttet til boring i petroleumssektoren. For at man skal lykkes med geotermisk kraft utenfor såkalte hot spots, er det avgjørende å få kostnadene ved dyp boring enda lenger ned, og gjerne også øke andelen av varmen som kan foredles til kraft. Lønnsomheten kan også forbedres hvis man kan få mer verdi ut av den resterende spillvarmen. Det er globalt installert om lag 12 GW geotermisk kraft og veksten har vært 4-5 % per år. Siden geotermiske anlegg kjører relativt jevnt, vil 1 MW geotermisk kapasitet gi 6-8 ganger så mye kraftproduksjon (MWh) som 1 MW solceller og mer enn dobbelt så mye kraft som 1 MW vindkraft. Se [Cichon \(2014\)](#) for en kort oversikt over status for geotermisk kraft.

I mange tilfeller utnytter man spillvarmen fra fossil kraftproduksjon til fjernvarme eller til industrielle formål. Når den fossile kraftproduksjonen skal erstattes med utslippsfrie alternativer, kan det en del steder være mulig å utnytte geotermisk energi til å lage både kraft og varme. Hvis temperatur fra grunnen man ikke er høy nok, kan det likevel være mulig å dekke varmebehovet, eventuelt med støtte fra varmpumper.

Biobrensel i ulike former brukes allerede i dag til å produsere kraft. For mange typer biobrensel er andelen av energien som blir til strøm relativt lav i forhold til andelen spillvarme (lav elektrisk virkningsgrad). Slike anlegg er derfor mest lønnsomme i samspill med et varmebehov, der man kan levere en kombinasjon av kraft- og varme (CHP). Anleggene vil normalt produsere kraft i perioder hvor det også er et varmebehov. I mange land sammenfaller dette med perioden hvor forbruket av kraft er størst. Ved å bygge et større *varmelager* (for eksempel en stor vanntank) kan man produsere mer kraft enn varmebehovet tilsier i noen perioder, og senere levere varme uten å produsere kraft. Man kan også bygge disse kraftverkene slik at de kan produsere kraft selv om man ikke har et varmebehov. Det forutsetter muligheter til å bli kvitt overskuddsvarmen (kjøling), slik man har i tradisjonelle termiske kraftverk. En slik utbygging kan være lønnsomt *hvis kraftprisen er tilstrekkelig høy i noen perioder*.

I perioder hvor kraftprisen er veldig lav kan man stanse CHP-anleggene og bruke lagret varme, eventuelt kjøpe strøm til oppvarming. (Jmfør 4.2.5 som drøfter samspill mellom kraft- og varmesektoren.)

Biogass kan produsere kraft i et konvensjonelt (og fleksibelt) gasskraftverk med høy virkningsgrad, men det er ikke realistisk å produsere biogass i mengder tilsvarende dagens tilgang på gass.

Ulike former for biobrensel har ulike miljøkonsekvenser

Eksempler på andre fornybare teknologier som det forskes på: Vindkraft fra en type kite ("drage") for å høste energi fra vind høyt oppe, strøm fra temperaturforskjeller (termoelektrisk), høsting av kraft fra elvestrømmer (uten demning), og nye konsepter for å høste energi fra bølger.

Alle ideene vil ikke lykkes, noen kan få stor betydning, andre kan få betydning i enkelte områder. Det er nødvendig med teknologisk fremgang og kostnadsreduksjoner samt sosial aksept for at nye løsninger skal lykkes. Det vil ta tid og kreve innsats. Det er viktig å huske at på 90-tallet mente svært mange at vindkraft på land aldri ville få noen betydning i kraftsystemet i Europa. Vindkraften ville være for dyr og det ville heller ikke monne. Flere eksperter mente dessuten at kraftsystemet kun ville takle et svært begrenset innslag av vindkraft. Utviklingen så langt har i stor grad gitt optimistene rett.

Fossil kraft med fangst og lagring av CO₂ (CCS) er foreløpig på pilotstadiet, men kan bli en viktig kilde til stabil kraftproduksjon i noen områder. Slike anlegg vil neppe bidra mye til kortsiktig regulering, og på grunn av høye faste kostnader vil de være beregnet på å kjøre en stor del av tiden. CCS kan også bli viktig for *store industrielle punktutslipp*, så det er grunn til å håpe at man vil lykkes med å få ned kostnadene ved CCS som teknologi. I mange land er det imidlertid motstand mot kraftverk med CCS, særlig pga. frykt for lekkasjer av CO₂. Ny kullkraft har relativt høye kapitalkostnader og med rensing og lagring av CO₂ blir kraftverkene enda dyrere. Det er derfor vanskelig å tro at denne teknologien kan bli veldig billig. Gass- eller kullkraft med CCS *kan* likevel bli en viktig løsning i områder med høyt kraftforbruk og stor avstand til gode fornybare ressurser. Det kan også tenkes andre konsepter for CO₂-fangst. Et alternativ kan være en prosess hvor metangass (CH₄, hovedbestanddelen av naturgass) sammen med oksygen omformes til hydrogen og CO₂. Hydrogenet kan deretter brukes til å produsere strøm i et kjøretøy/fartøy eller

for å levere kraft til nettet. (CO₂ kan lagres i gamle olje- og gassfelt, med det jobbes også med løsninger som binder CO₂ i visse byggematerialer.) Når man lager strøm med hydrogen i brenselceller kan man utnytte spillvarmen til oppvarming.

Kjernekraft har vært en del av kraftsystemet i mange land siden 1960-tallet. Kjernekraften er kontroversiell og det er usikkert hvor mange land som vil satse videre på kjernekraft. Hvis kjernekraften avvikles og skal erstattes av mer variable vindkraft- og solkraft, øker behovet for ny fleksibilitet.

Det arbeides med å utvikle nye generasjoner med kjernekraftteknologi. Disse skal ha økt sikkerhet, langt bedre utnyttelse av energien i brenselet og vesentlig mindre radioaktivt avfall. Det ser likevel ut til å være et stykke fram til realisering.

Det har gjennom mange årtier vært forsket for å få fram *fusjonskraft*, som kan gi tilgang til nesten ubegrensede mengder energi. Selv om det ikke har kommet noe endelig gjennombrudd på dette området, har man hatt en klar fremgang, og en fusjonsreaktor på 500 MW er under bygging⁵³. En eventuell kommersialisering kommer neppe før 2040.

Det er uklart hva det koster å bygge og drive et kjernekraftverk med moderne krav til sikkerhet. Det er dessuten kontroversielt hvilken kostnad man skal knytte til risikoen for alvorlige ulykker. Mens noen fagmiljøer opererer med kostnadsanslag rundt 50 øre/kWh for nye kjernekraftverk, har myndighetene i UK inngått avtale om bygging av et nytt kjernekraftverk hvor man skal betale £92,5₂₀₁₃/MWh i 35 år (Hinkley Point C agreement). Dette tilsvarer rundt 90 øre/kWh i 35 år. Den høye prisen har overrasket mange.

[Prognos AG \(2014\)](#) har en interessant analyse hvor man sammenlikner *systemkostnader* ved to alternativer, kjernekraft og fornybar kraft. Man beskriver et forenklet system med like stort forbruk og produksjon, og et tysk forbruksmønster. I det ene systemet dekkes halve strømforbruket med kjernekraft, og den andre halvparten dekkes med gasskraft (CCGT). I det andre systemet dekkes halve forbruket med onshore vindkraft og PV. Også her dekkes den andre halvparten med gasskraft. Men siden produksjonen fra sol- og vindkraft varierer, er det her lønnsomt å bygge både konvensjonell gasskraft (CCGT) og en del gassturbiner (OCGT). For å sammenlikne systemkostnadene har man lagt til grunn den britiske avtalen (Hinkley Point C agreement) og tyske innmatingstariffer for onshore vindkraft og PV. Selv om systemet med sol- og vindkraft trenger mer samlet gasskraftkapasitet (MW) for å kompensere for variabel sol- og vindkraft, finner man likevel at dette systemet blir billigere enn systemet med kjernekraft.

De høye kjernekraftkostnadene fra den britiske avtalen gir høye totale systemkostnader for dette alternativet. Som nevnt er det vanskelig å få et godt bilde av hva ny kjernekraft koster, og i forhold til tidligere anslag er den avtalte prisen for Hinkley Point C svært høy. Kanskje kan andre bygge kjernekraft billigere? Men på den andre siden har man i analysen ikke tatt med kostnader knyttet til risikoen for kjernekraftulykker og man har lagt til grunn at kjernekraften produserer helt stabilt, hvilken den ikke uten videre gjør. Muligheten for stopp i deler av

⁵³ I 2010 startet byggingen av et pilotkraftverk på 500 MW i Frankrike. Dette skjer som et samarbeid mellom 35 land. [Laberge \(2014\)](#) gir i et foredrag en optimists perspektiv på status og nye teknologiske muligheter for fusjonskraft.

kjernerkeftproduksjonen gjør trolig behovet for reservekapasitet større enn Prognos AG har lagt til grunn. Alt i alt virker sammenlikningen rimelig.

V2.3 Nye bidrag til fleksibilitet

Mulig økt fleksibilitet på produksjonssiden

Som tidligere nevnt kan fleksibiliteten økes i *kombinerte kraft- og varmekraftverk*. Man kan også ha noe fleksibel gasskraft basert på biogass, men ressursene for dette vil trolig være begrensede i et rent fornybart system. Metangass kan også produseres fra hydrogen som igjen kan lages av kraft i perioder med kraftoverskudd. Overgangen fra kraft til hydrogen og eventuelt videre til metangass (CH₄) gir betydelige energitap, men omformingen *kan* likevel være lønnsom så lenge hydrogenet kan produseres i perioder med relativt lave kraftpriser. (Dette er kort kommentert i kapittel 4.2.5.) Man kan også lage flytende brensel basert på hydrogen.

Vannkraft med magasin kan holde tilbake vann når det er overskudd av kraft, og spare produksjonen til perioder med større knapphet og høyere priser. I vannkraftverk med magasin kan fleksibiliteten økes ved å installere mer generatorkapasitet (flere MW) i magasin kraftverkene og ved å bygge ut pumpekraft. Man kan også bygge ut ny vannkraft med magasin eller øke magasinene der det er mulig, men i land som Norge er slike tiltak ofte kontroversielle. Så lenge man ikke risikerer spill av vann koster det lite å utnytte fleksibiliteten i vannkraftverkene.

I et *pumpekraftverk* pumper man opp vann fra et lavereliggende magasin til et høyereliggende magasin når det er overskudd av kraft (lav pris). Man produserer kraften senere når kraftprisen er høyere. Energitapet ved pumpekraft er om lag 20 %. Det er mulig å øke kapasiteten på pumpekraft i mange land i Europa ved å utnytte naturlige innsjøer⁵⁴ og dessuten kan man bygge kunstige reservoarer. Det siste er naturligvis mye dyrere og man vil da ofte kun ha kapasitet til å levere kraft i 6 - 10 timer på dagen. Der hvor man har store naturlige magasin høyt til fjells, som i Norge, kan lagringskapasiteten være stor uten veldig høye kostnader per lagret MWh eller per MW produksjonskapasitet. Økt reguleringsevne i vannkraftverkene og mer pumpekraft kan være ett av mange bidrag til å balansere forbruk og produksjon i Europa.

Gassturbiner er en kjent teknologi som kan spille en viktig rolle for å dekke maksimalforbruket når vind og sol svikter. Når man bygger ut sol- og vindkraft oppnår man kun en liten reduksjon i behovet for annen produksjonskapasitet. Imidlertid blir det *færre timer* hvor man har behov for stor kapasitet. Dette har interessante implikasjoner. [Agora Energiewende \(2014\)](#) hevder at i Tyskland vil det maksimale forbruket være rundt 80 GW i år 2020, *men nesten en fjerdedel av dette forbruket (de siste 15 - 25 GW) vil opptre i mindre enn 200 timer per år*. Den

⁵⁴ Se *Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage* ([European Commission, 2013](#)). Her ser man på bruk av naturlige innsjøer. Ikke overraskende har Norge stort potensial, men også i en del andre land finnes det et visst potensial. I følge Gunnar Groebler fra Vattenfall er det mulig å øke kapasiteten på pumpekraft i Tyskland fra dagens 7 GW til 15 GW, gitt de rette betingelsene. (Referert av nyhetsbyrået Montel 25.03. 2014). Maksimalforbruket i Tyskland forventes i fremtiden å ligge rundt 80 GW. Tysk pumpekraft kan altså i dag dekke om lag 9 % av dette og det kan være mulig å øke andelen til rundt 18 %.

tradisjonelle metoden for å dekke et slikt kortvarig kraftbehov er gassturbiner. Rapporten sier at de faste årlige kostnadene for å holde en slik kapasitet vil være i størrelsesorden €35 – 70 millioner per GW. Hvis man antar en gjennomsnittlig brukstid for gassturbinene på 100 timer per år får man da faste kostnader på 2,8 – 5,6 kr per kWh levert. I tillegg kommer en gasskostnad rundt 70-80 øre per kWh pluss CO₂-kostnaden. Kostnaden ved å levere denne kraften er altså svært høy per kWh, men siden det er snakk om få timer blir totalkostnaden for forbrukerne ikke så stor.

De faste kostnadene for å holde 20 GW gassturbiner i beredskap vil tilsvare et påslag i gjennomsnittlig kraftpris i Tyskland på 1 – 2 øre per kWh. Som forsikring mot sammenbrudd i kraftsystemet er 1-2 øre per kWh trolig en akseptabel kostnad, men det er likevel et viktig spørsmål om det finnes billigere alternativer. Det kan for eksempel være mulig å få forbrukere til å kutte ut en del av sitt kraftforbruk i ekstreme situasjoner. Det kan skje ved høye priser og smart styring av forbruket, slik at forbrukerne kan kutte den delen av forbruket som er minst viktig.

Med en gjennomsnittlig brukstid på 100 timer for 20 GW vil man produsere 2 TWh kraft, bruke rundt 600 millioner m³ gass og slippe ut 1,4 millioner tonn CO₂ som er rundt 0,2 % av Tysklands totale CO₂-utslipp. Gassturbiner kan startes relativt raskt og har gode reguleringsegenskaper. De kan dermed også støtte kraftsystemet ved et brått fall i for eksempel vindkraftproduksjonen. Denne evnen til relativt rask regulering har en tilleggsverdi. Fra et klimaperspektiv er det naturligvis ønskelig at man etter hvert bruker biogass, noe som burde være mulig for de volumene vi her snakker om.

Nødaggregater brukes av institusjoner hvor sikker strømforsyning er spesielt viktig, for eksempel sykehus og store datasentraler. Nødaggregat har ofte dieselgeneratorer som slår seg på automatisk hvis strømmen fra nettet forsvinner. (Batterier kan sikre strømforsyningen inntil generatorene er i gang.) Ved relativt enkel tilpasning kan nødaggregat settes i stand til å støtte kraftsystemet i situasjoner med mangel på produksjonskapasitet. Det samme anlegget som sikrer en lokal forbrukers strømforsyning, kan dermed også støtte forsyningen av storsamfunnet når behovet er der – og få betalt for det. Med økende krav til sikker strømforsyning, kan det tenkes at flere institusjoner etter hvert vil se nytten av reserveforsyning av strøm. *Hvis det samlede energisystemet uansett trenger reservekapasitet for spesielle situasjoner, kan det være hensiktsmessig å plassere en del av denne kapasiteten på steder som har ekstra høye krav til sikker forsyning.* Reservene kan dermed tjene flere formål. I fremtiden kan det tenkes at diesellaggregatene vil bli supplert med større batterier og lokale solpaneler, eller bli erstattet av hydrogen og brenselceller (som ikke gir støy og forurensende utslipp lokalt).

Energilagre og batterier⁵⁵

Jeg har allerede nevnt pumpekraft, som i dag er den helt dominerende formen for lagring av strøm. Man kan også lagre kraft i form av *trykkluft*, for eksempel i gamle gruver. Potesialet er begrenset og virkningsgraden 70-80 %.

⁵⁵ For en mer utfyllende gjennomgang av mulige løsninger for lagring anbefaler jeg [Hvidtfeldt Larsen og Sønnerberg Petersen \(2013\)](#).

Man kan bygge ut systemer for lagring av kraft i store batterier som er tilknyttet nettet. Slike lagringsløsninger vil være mest lønnsomme for å balansere relativt kortsiktige svingninger, for eksempel innenfor døgnet eller uken. Når batteriene kan brukes hyppig blir de faste kostnadene fordelt på mange ladesykluser (se nedenfor). For lagring av virkelig store energimengder (flere TWh) kan batterier ikke konkurrere med naturlige vannmagasin med stor fallhøyde.

Ulike batteri- og lagringsteknologier vil ha ulike egenskaper og de kan derfor være egnet for ulike formål, fra meget rask respons for å stabilisere kraftsystemet til lagring av kraft for timer og kanskje dager (hvis de blir billige nok).

Store batterier plassert på de rette stedene i nettet kan bidra til jevnere flyt og gi økt utnyttelse av nettet. Batterier tilknyttet anlegg med solceller kan jevne ut kraftleveransene slik at disse i større grad følger behovet i markedet. Jevnere leveranser kan spare kostnader i kraftproduksjonen og i visse tilfeller begrense behovet for nettinvesteringer. Batterier som primært installeres for å benyttes ett sted i kraftsystemet, kan yte tjenester i andre deler av systemet. Et eksempel kan være at man i et område investerer i et større anlegg med solpanel og i perioder med mye sol og lavt forbruk kan få problemer med å få ut hele kraftproduksjonen. Batterier kan være et billigere alternativ enn å forsterke det lokale nettet for å få ut kraften, og samtidig kan batteriene i situasjoner med ledig kapasitet lagre kraft når kraftprisen er lav og levere mer når prisen er høy. Batterier tilknyttet en park med solpaneler kan og bør dermed også brukes til å jevne ut andre ubalanser enn de som skyldes variabel sol.

Batterier kan også bidra til ekstra sikker forsyning i noen institusjoner, eventuelt i kombinasjon med nødaggregater. Det er imidlertid et viktig poeng at batterier foreløpig ikke er billige, at evnen til å takle mange ladesykluser varierer og at man har et visst energitap.⁵⁶

Lønnsomheten av energilagre påvirkes av prisforskjeller, bruksfrekvens og energitap

Felles for energilagre er at inntjeningen er knyttet til prisforskjellen man kan oppnå mellom lading og leveranse, hvilket energitap man har over en slik syklus, og hvor ofte man kan utnytte anlegget. Et talleksempel kan illustrere dette: Anta at et pumpekraftverk kan kjøpe 1000 MWh om natten for €40/MWh, og selge tilbake 800 MWh (ved tap 20 %) om dagen til en pris på €80. Dette gir en inntekt på $800 \times €80 - 1000 \times €40 = €24.000$ per dag. Hvis dette skjer hver dag blir den årlige inntekten €8.760.000.

Hvis prisforskjellen halveres ved at prisen på dagen går ned fra €80 til €60, mens natteprisen fortsatt er €40, vil inntekten falle med 2/3. Årsaken er at en del av prisforskjellen dekker energitapet. Hvis prisen om dagen går ned til €50 er det ingen ting å tjene. Prisforskjellen oppveier da akkurat energitapet og man kan like gjerne la anlegget stå.

Hvis prisforskjellene opptrer sjeldnere, slik at man bare kan kjøre anlegget med fortjeneste halve året, men da med samme prisforskjell som før (€40/€80) blir den

⁵⁶ Tap oppstår ved lading og tømning av batteriet, ved omforming fra vekselstrøm til likestrøm og tilbake, og ved flyt gjennom (det lokale) nettet.

årlige inntektene halvert i forhold til det opprinnelige nivået. Hvis energilageret kunne redusere energitapet fra 20 % til 10 % og prisene fortsatt var €40/€80, ville inntekten i eksemplet stige med 33 %. Kostnadene ved energitapet er størst når innkjøpsprisen for kraften er høy.

Eksemplet over illustrerer at prisforskjeller og hyppighet i utnyttelse av et energilager har stor betydning for lønnsomheten, og at også energitapet kan ha en del å si hvis innkjøpsprisen for kraften er høy.

Fleksibel etterspørsel etter kraft

Når man har et stort uttak av effekt over korte perioder (jamfør eksemplet foran hvor 25 % av maksimaleffekten ble brukt i mindre enn 200 timer), kan *forbruksreduksjoner* være et svært lønnsomt tiltak. For at mindre forbrukere skal kunne bidra med fleksibilitet på en effektiv måte må man ha smart styring av forbruket gjennom IKT-systemer.

Forbruksfleksibilitet er i betydelig grad knyttet til elektrifisering i transport- og varmesektoren. Dette er beskrevet i kapittel 4.2.5.

V2.4 Behov for implementering og utvikling

Vi har sett at det er mange typer av utslippsfri kraftproduksjon som kan bidra til en jevnere kraftproduksjon, og det er mange løsninger som kan bidra til fleksibilitet, slik at man sikrer den nødvendige balansen mellom kraftforbruk og kraftproduksjon. En del viktige fleksible løsninger kan tas i bruk i dag, særlig i varmesektoren. Det er viktig å avklare potensialet for slik fleksibilitet.

I noen tiår fremover vil gasskraft kunne tilby en viktig fleksibilitet, men dersom man skal få utslippene i kraft- og energisektoren ned mot null må man utvikle nye løsninger. Gitt den lange tiden det tar å utvikle ny teknologi og å få kostnadene ned, er det viktig med en målrettet innsats på dette området *nå*. Eller for å sitere Hvidtfeldt Larsen og Sønderberg Petersen (2013):

”With the prominent exception of pumped hydro storage, energy storage activities in Europe are currently confined to pilot or test plants, or even the laboratory. Large-scale energy storage has not yet been realised. However, joint European research plans as well as national plans in the EU member states clearly show that energy storage is considered an essential element of the future energy infrastructure and must be developed now to be available when market demand emerges.”

I den siterte rapporten er temaet lagring. Det er naturligvis også viktig å utvikle og kartlegge de andre mulighetene for fleksibilitet, og spesielt de lavhengende fruktene. Mer kunnskap om hvilke utslippsfrie former for kraft som kan bli aktuelle og hvordan annen infrastruktur kan bli bygget ut, vil også gjøre det lettere å bygge fremtidens løsninger på en kostnadseffektiv måte.

REFERANSER

- Agora Energiewende (2013). *12 Insights on Germany's Energiewende*. February 2013
http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Impulse/12_Thesen/Agora_12_Insights_on_Germanys_Energiewende_web.pdf (lastet ned 22.10.2014)
- Ariely, Dan. (2008). *Predictably Irrational: The Hidden Forces That Shape Our Decisions*. 1st ed. New York, NY: Harper.
- Barnard, Mike (2014). *Where Is The Real Innovation In Wind Energy?* CleanTechnica, April 21st, 2014
cleantechnica.com/2014/04/21/real-innovation-wind-energy?utm_source=twitterfeed&utm_medium=twitter&utm_campaign=Feed%3A+IM-cleantechnica+%28CleanTechnica%29 (lastet 19.10.2014)
- Borghino, Dario (2014). *New "dual carbon" battery charges 20 times faster than Li-ion*. May 19, 2014.
<http://www.gizmag.com/dual-carbon-fast-charging-battery/32121/>
- Braw, Elisabeth: *Copenhagen to Be the World's First Carbon-Neutral Capital*, Newsweek, August 3, 2014
www.newsweek.com/2014/08/08/copenhagen-be-worlds-first-carbon-neutral-capital-262623.html (lastet 22.10.2014)
- Bronson, Sarah et al.(2007). *Endowment Effects in Chimpanzees*. Current Biology, October 2007
- Brunstad og Vagstad (2010) *Veiprising mot k er og forurensning*. Samfunns konomien Nr. 6 2010.
- Camerer, Colin (2013) : *Neuroscience, game theory, monkeys*. ted.com.
http://www.ted.com/talks/colin_camerer_neuroscience_game_theory_monkeys (lastet 22.10.2014)
- Choi, Charles Q (2007). *Mine! Chimps acts like humans. Chimps, like people, often consider an item more valuable when it's theirs*. Science on NBCNews.com 10/8/2007
<http://www.nbcnews.com/id/21193515/#.VEQYtFckJAZ> (lastet 19.10.2014)
- Cialdini, Robert B.(2001). *Influence. Science and Practise*, Allyn & Bacon
- Cichon, Meg: *Global Geothermal Market Saw Huge 2013 Growth, Says GEA*. April 22, 2014.
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2014/04/geothermal-market-saw-huge-2013-growth-as-countries-catch-up-with-us-says-gea> (lastet 22.10.2014)
- Damborg, Steffen and Krohn S ren (2001) *Public Attitudes Towards Wind Power*. Danish Wind Turbine Manufacturers Association. <http://ele.aut.ac.ir/~wind/en/articles/surveys.htm> (lastet 19.10.2014)
- Dixin, Xu: *China's Special Economic Zones*. Beijing Review, May 26th. 2009
http://www.bjreview.com.cn/nation/txt/2009-05/26/content_197576.htm (lastet 19.10.2014)
- European Commission (2013). *Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage*. 2013
http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_20130503_assessment_european_phs_potential.pdf. (lastet 22.10.2014)

- European Commission (2014) *Questions and answers on the proposed market stability reserve for the EU emissions trading system*. MEMO/14/39, 22/01/2014: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-39_en.htm (lastet 19.10.2014)
- Garus, Katharina (2013). *Statoil will build floating wind farm in UK*, Offshore Wind Industry, Friday, 29. November, 2013 <http://www.offshorewindindustry.com/node/22936> (lastet 19.10.2014)
- Groeblér, Gunnar (2014), Vattenfall referert av nyhetsbyrået Montel 25.03. 2014
- Hood, Christina (2013) *Managing interactions between carbon pricing and existing energy policies*, OECD/IEA 2013. http://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/ManagingInteractionsCarbonPricing_FINAL.pdf (lastet 19.10.2014)
- Hoppmann J. et al. (2014). *Compulsive Policy Making – The evolution of the German feed-in tariff system for solar photovoltaic power*. Research Policy
- Hvidtfeldt Larsen and Sønderberg Petersen (2013). *ENERGY STORAGE OPTIONS FOR FUTURE SUSTAINABLE ENERGY SYSTEMS*. DTU National Laboratory for Sustainable Energy / November 2013. http://orbit.dtu.dk/ws/files/60269062/DTU_International_Energy_Report_2013.pdf (lastet 22.10.2014)
- IEA-RETD (2014). *Accelerating the commercialisation of emerging renewable energy technologies (RE-InnovationChain)*, [Murphy, B., T. Jennings et al.; The Carbon Trust/Element Energy] IEA Implementing Agreement for Renewable Energy Technology Deployment (IEA-RETD), Utrecht, 2014. <http://iea-retd.org/wp-content/uploads/2014/09/RE-InnovationChain-Final-Report.pdf> (lastet 19.10.2014)
- IEA (2014): *Capturing the Multiple benefits of energy efficiency*, http://www.iea.org/W/bookshop/475-Capturing_the_Multiple_Benefits_of_Energy_Efficiency (lastet 19.10.2014)
- IEA (2002) World Energy Outlook
- IEA (2012) World Energy Outlook
- IEA (2013) World Energy Outlook, *Energy Subsidies*. <http://www.worldenergyoutlook.org/resources/energysubsidies/> (lastet 19.10.2014)
- Ingram, Antony (2014a). *New Lithium-Ion Battery Uses Peroxide To Boost Energy Density By 7 Times*. EVWorld.com 30/7 2014. http://www.greencarreports.com/news/1093530_new-lithium-ion-battery-uses-peroxide-to-boost-energy-density-by-7-times-report (lastet 19.10.2014)
- Ingram, Antony (2014b). *Tesla's Battery Gigafactory May Achieve Nirvana: \$100 Per Kilowatt-Hour, Report Says*. EVWorld.com 28/8 2014. http://www.greencarreports.com/news/1094102_teslas-battery-gigafactory-will-achieve-nirvana-100-per-kilowatt-hour-report-says?utm_source=GreenCarReports&utm_medium=twitter (lastet 19.10.2014)
- Kahneman, Daniel (2013). *Thinking, Fast and Slow*. Farrar, Straus and Giroux, 2013
- Kuhn, Thomas S. *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press
- Laberge, Michel (2014). *How synchronized hammer strikes could generate nuclear fusion*. ted.com. March 2014 http://www.ted.com/talks/michel_laberge_how_synchronized_hammer_strikes_could_generate_nuclear_fusion. (lastet 22.10.2014)
- Mazzucato, Mariana (2013a). *The Entrepreneurial State, Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Anthem Press 2013
- Mazzucato, Mariana (2013b). *Government – investor, risk-taker, innovator*. 14 minutters foredrag på ted.com http://www.ted.com/talks/mariana_mazzucato_government_investor_risk_taker_innovator.html
- Mints, Paula (2012). *The Global Market for PV Technologies*, Solar PV Market Research

- Morris, Craig (2014). *Renewable energy patents boom in Germany*. Energytransition.no, 21.08.2014. energytransition.de/2014/08/renewable-energy-patents-boom-in-germany (lastet 19.10.2014)
- Moxnes, Erling (1998) *Overexploitation of renewable resources: The role of misperceptions*. Journal of Economic Behavior & Organization Vol. 37 (1998) 107-127
- OECD (2011). Environmental Outlook to 2050, Chapter 3: Climate Change, OECD.org, Pre-release version, November 2011. <http://www.oecd.org/env/cc/49082173.pdf> (lastet 19.10.2014)
- Parkinson, Giles (2013). *Renewables now cheaper than coal and gas in Australia*, Reneweconomy, 7 February 2013 <http://reneweconomy.com.au/2013/renewables-now-cheaper-than-coal-and-gas-in-australia-62268> (lastet 19.10.2014)
- Peterka, Amanda (2014). *Health benefits offset costs of climate policies*. Greenwire, Monday, August 25, 2014. <http://www.eenews.net/stories/1060004866>. (lastet 19.10.2014)
- Philibert, C. (2011), *Interactions of Policies for Renewable Energy and Climate*, IEA Energy Papers, No. 2011/06, OECD Publishing [10.1787/5kggc12rmkzq-en](http://dx.doi.org/10.1787/5kggc12rmkzq-en) (lastet 03.11.2014)
- Plassmann, O'Doherty, Shiv, and Rangel (2008). *Marketing actions can modulate neural representations of experienced pleasantness*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, December 3, 2007 <http://www.pnas.org/content/105/3/1050.abstract> (lastet 19.10.2014)
- Plumer, Brad (2014). *Solar power is contagious: Installing panels often means your neighbors will too*. Vox.com October 24, 2014. <http://www.vox.com/2014/10/24/7059995/solar-power-is-contagious-neighbor-effects-panels-installation> (lastet 28.10.2014)
- Prognos AG (2014). *Comparing the Cost of Low-Carbon Technologies: What is the Cheapest Option?* Agora Energiewende, April 2014. http://www.agora-energiewende.org/fileadmin/downloads/publikationen/Analysen/Comparing_Costs_of_Decarbonisationtechnologies/Agora_Analysis_Decarbonisationtechnologies_web_final.pdf (lastet 22.10.2014)
- REN21 (2014). *Renewables 2014 Global Status Report*. <http://www.ren21.net/ren21activities/globalstatusreport.aspx> (lastet 19.10.2014)
- Rocky Mountain Institute (2013). *Can the Cost of Solar in the U.S. Compete with Germany?* http://blog.rmi.org/blog_2013_12_05_can_usa_solar_cost_compete_with_germany (lastet 19.10.2014)
- Romer, Paul (2009). *Why the world needs charter cities*, ted.com http://www.ted.com/talks/paul_romer
- Sachs, Jeffrey (2014). *The Limits of Climate Negotiations*. June 23, 2014 <http://www.project-syndicate.org/commentary/jeffrey-d-sachs-says-that-the-fight-against-global-warming-is-mainly-a-technological-problem> (lastet 22.10.2014)
- Schmitz, Michael (2013). *Lessons from China's Emerging Sustainable Cities*, April 29, 2013 <http://www.environmentalleader.com/2013/04/29/chinas-emerging-sustainable-cities-and-their-lessons-for-us-cities/> (lastet 22.10.2014)
- Stern Review (2007). *Stern Review on the economics of climate change* http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm (lastet 19.10.2014)
- Sterner, Thomas and Persson, U. Martin (2008). *An Even Sterner Review: Introducing Relative Prices into the Discounting Debate*, Rev Environ Econ Policy 2 (1): 61-76.
- The Economist (2014a). *Global warming Who pressed the pause button? The slowdown in rising temperatures over the past 15 years goes from being unexplained to overexplained*. 8.3. 2014 <http://www.economist.com/news/science-and-technology/21598610-slowdown-rising-temperatures-over-past-15-years-goes-being> (lastet 19.10.2014)

- The Economist (2014b): *The economic case for scrapping fossil-fuel subsidies is getting stronger*. 11.01.2014 <http://www.economist.com/news/finance-and-economics/21593484-economic-case-scrapping-fossil-fuel-subsidies-getting-stronger-fuelling> (lastet 19.10.2014)
- TNS Gallup/Enova (2009) *Holdning til vindkraft i berørte kommuner* http://www.nve.no/PageFiles/7983/BI_Daniel_Rees.pdf (lastet 19.10.2014)
- Torvanger and Meadowcroft (2011). *The political economy of technology support: Making decisions about carbon capture and storage and low carbon energy technologies*, GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE - HUMAN AND POLICY DIMENSIONS, 21(2)
- U.S. Department of Energy (2013): *Revolution Now, The Future Arrives for Four Clean Energy Technologies*, September 17, 2013. <http://energy.gov/sites/prod/files/2013/09/f2/Revolution%20Now%20--%20The%20Future%20Arrives%20for%20Four%20Clean%20Energy%20Technologies.pdf> (lastet 19.10.2014)
- Wikipedia (2014a). <http://en.wikipedia.org/wiki/File:World-Population-1800-2100.svg>. (lastet 19.10.2014)
- Wikipedia (2014b). *Aluminium*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium>
- World Economic Forum (2013). *Lessons Drawn from Reforms of Energy Subsidies* http://www3.weforum.org/docs/GAC13/WEF_GAC13_LessonsReformsEnergySubsidies_Report.pdf (lastet 19.10.2014)
- Wright, Devine (2011) *Renewable Energy and the Public. From NIMBY to Participation*. London: Earthscan
- Wright, Matthew (2014). *LEDs will slash energy use for lighting by 95%* Reneweconomy 21.07 2014 <http://reneweconomy.com.au/2014/leds-will-slash-energy-use-for-lighting-by-95-12875> (lastet 19.10.2014)
- Yale Environment 360 (2014). *Global Population on Track to Reach 11 Billion by 2100, Researchers Say*. 19 Sep 2014 http://e360.yale.edu/digest/global_population_on_track_to_reach_11_billion_by_2100_researchers_say/4251/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+YaleEnvironment360+%28Yale+Environment+360%29 (lastet 19.10.2014)



ENERGIOGKLIMA.NO

Nettmagasinet Energi og Klima tar opp aktuelle norske og internasjonale klima- og energispørsmål med spesiell vekt på fornybar energi og innovative løsninger. Energi og Klima er både en debattplattform og kunnskapsformidler. Magasinet oppdateres daglig.

Energi og Klima redigeres etter Redaktørplakaten og Vær varsom-plakaten. Magasinet er eid av Norsk Klimastiftelse. Ansvarlig redaktør: Anders Bjartnes