

# Klimapolitik: kortsigtede omkostninger og langsigtede gevinster

Samspelet mellem økonomi og befolkningsudvikling, klimaeffekten af den økonomiske aktivitet og dennes tilbagespil på økonomien analyseres. Optimal klimapolitik og fordele og ulemper ved at regulere CO<sub>2</sub>-udledningen med henholdsvis kvoter og afgifter diskuteres.



■ **Jørgen Birk Mortensen**  
Lektor ved  
Økonomisk Institut,  
Københavns Universitet



■ **Lars Haagen Pedersen<sup>1</sup>**  
Sekretariatschef  
De Økonomiske Råds  
Sekretariat

## 1. Indledning

Udledningerne af drivhusgasser vil påvirke klimaforholdene flere århundreder frem i tiden. Løsningen af dette problem, som er knyttet til eksterne effekter og klimaets offentlige gode karakter, skaber behov for internationalt samarbejde og er et markant eksempel på, at individuelle og nationale beslutninger ikke skaber samlet optimalitet, dvs. ikke frembringer ønskede reduktioner i de globale udledninger.

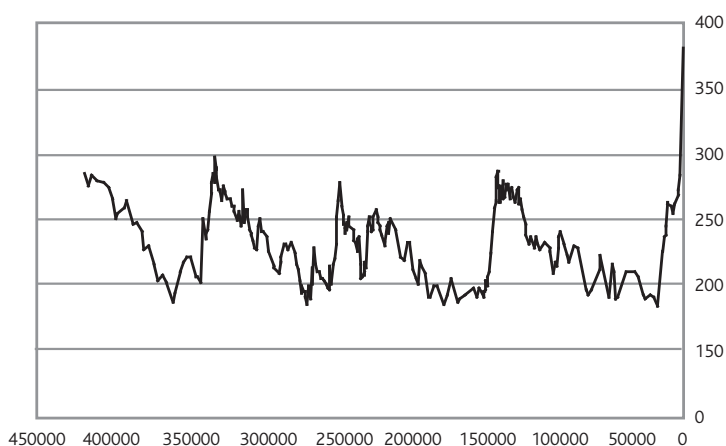
Klimapolitikken er kendetegnet ved, at tidshorisonten er væsentligt længere end for de fleste andre store internationale politikproblemer og ved, at emnets kompleksitet fører til utilstrækkelig videnskabelig viden om konsekvenserne af en fortsat stigende udledning af drivhusgasser. Begge dele leder til en faglig usikkerhed om de vidtrækkende beslutninger, som politikerne står over for. Endvidere kommer udgifterne til klimabeskyttelse fra start, mens fordelene først vil vise sig på meget lang sigt. Disse forhold skaber problemer for beslutningstagere, som er valgt for væsentligt kortere perioder, og som har begrænsede muligheder for at binde fremtidige beslutningstagere. Den markante usikkerhed giver endvidere et stærkt argument for skabe og sikre fleksibilitet. Kort tidshorisont for klimaaftaler og dermed usikkerhed om, hvor stram den fremtidige klimapolitik vil blive, reducerer incitamenterne for teknologiudvikling og omstillinger i klimavenlig retning.

Artiklen indledes med en præsentation af den geofysiske sammenhæng mellem den historiske udledning af CO<sub>2</sub> og den aktuelle koncentration af CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Det pointeres, at stabilisering af CO<sub>2</sub>-koncentrationen på det nuværende niveau kræver en aftagende udledning i de kommende år. Det er vanskeligt at forestille sig en markant reduktion i udledningen på kort sigt på grund af faktorer som økonomisk vækst og befolkningsudvikling. Det komplekse samspil mellem på den ene side økonomi og befolkningsudvikling og på den anden side klimaeffekten af den økonomiske aktivitet og klimaets tilbagespil på den økonomiske aktivitet tages op i det efterfølgende afsnit, som diskuterer den optimale klimapolitik over tid. Artiklen afsluttes med en diskussion af fordele og ulemper ved at regulere CO<sub>2</sub>-udledningen med henholdsvis kvoter og afgifter.

## 2. Klimaændringer som reguleringsproblem - beholdningsforurening

Den historiske udvikling i mængden af CO<sub>2</sub> i atmosfæren kan måles ved hjælp af iskerner og kan således vurderes over en ca. 400.000 års

Figur 1. CO<sub>2</sub>-koncentrationen i atmosfæren i 400.000 år



Anmærkning: CO<sub>2</sub>-koncentrationen på 383 ppm i 2005 er tilføjet som observation i år 0 til den refererede dataserie.

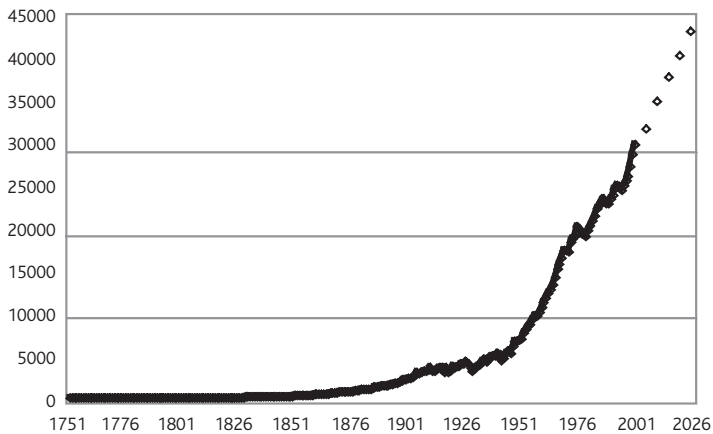
Kilde Petit, J.R., et al., 2001, Vostok Ice Core Data for 420,000 Years, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2001-076.  
NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

periode. Der er markante variationer over tid i koncentrationen, som svinger mellem ca. 180 ppm og 300 ppm frem til slutningen af 2. verdenskrig. Herefter er der en stigning i koncentrationen til det nuværende niveau på ca. 380 ppm, jf. figur 1. De historiske variationer skyldes blandt andet, at temperaturændringer påvirker havenes evne til at absorbere CO<sub>2</sub>, således at en initial temperaturstigning medfører en lavere absorptionsevne og dermed en højere CO<sub>2</sub>-koncentration. Den højere CO<sub>2</sub>-koncentration forstærker den initiale temperatureffekt og virker derfor som en "multiplikator" på den oprindelige effekt. I det seneste halvår har den stigende anvendelse af fossilt brændstof betydet, at udledningen af CO<sub>2</sub> til atmosfæren er steget meget bety-

■ ■ ■

**Note 1** Synspunkter fremsat i nærværende artikel er alene forfatterens og ikke nødvendigvis sammenfaldende med formandskabet for Det Miljøøkonomiske Råds.

Figur 2. Udledning af CO<sub>2</sub> fra fossilt brændsel 1751 – 2003 og fremskrivning



Kilder: Carbon Dioxide Information Analysis Center, US Department of Energy, og US Energy Information Administration.

deligt fra år til år. I denne situation er det således den ekstra udledning af CO<sub>2</sub>, som forårsager temperaturstigningen, og denne forstærkes af den naturligt lavere absorption af CO<sub>2</sub> i havene ved den højere temperatur.

CO<sub>2</sub> og andre klimagasser henfalder langsomt. Det betyder, at den nuværende koncentration er en konsekvens af udledninger i en lang historisk periode. Samtidig betyder det, at selv en fastholdelse af den nuværende udledning vil føre til en fortsat stigning i koncentrationen af CO<sub>2</sub>, fordi den nuværende udledning er markant højere end den historiske udledning, jf. figur 2.

En fortsat stigning i den årlige udledning vil føre til en eksponentiel vækst i CO<sub>2</sub>-koncentrationen med ukendte klimakonsekvenser. For at stabilisere koncentrationen af CO<sub>2</sub> i atmosfæren på det nuværende niveau kræves et markant fald i de årlige udledninger, således at de bliver mere end halveret frem mod 2050, jf. IPCC (2007).

Klimapolitikken har som mål, at stabilisere koncentrationen af CO<sub>2</sub> ved at reducere udledningen af klimagasser, således at den svarer til nedbrydningen. Det niveau, som beholdningen stabiliseres på, er bestemmende for konsekvenserne for jordens klima. En ambitiøs klimaplan om at begrænse temperaturstigningen til omkring 2 grader over det nuværende niveau, indebærer en stabilisering af CO<sub>2</sub>-koncentrationen på et niveau omkring 550 ppm. Dette svarer til overgrænsen i stabiliseringsmålsætningen i Stern (2006). IPCCs beregninger peger på, at dette kan opnås ved en begrænset og aftagende stigning i den årlige udledning frem mod et toppunkt på knap 40 mia. ton CO<sub>2</sub> omkring 2020 efterfulgt af en gradvis reduktion i udledningen til et niveau omkring de nuværende ca. 30 mia. ton CO<sub>2</sub> i 2050. IPCC (2007) vurderer, at denne

udledning vil lede til en stigning i den globale middeltemperatur på 2-4 grader i forhold til situationen uden menneskeskabt drivhusgasudledning, eller 1-3 grader i forhold til det nuværende niveau, se også Halnæs (2009) i dette nummer af Samfundøkonomen.

Fra et økonomisk synspunkt indebærer stabiliseringen af koncentrationen af CO<sub>2</sub>, at reguleringen af de årlige udledninger skal justeres over tid for at opnå et optimalt forløb for udledningerne over tid – ikke blot en optimal udledning indenfor en given periode. Den optimale regulering af udledningen over tid indebærer som et generelt princip, at den aktuelle pris på drivhusgasudledningen skal svare til den tilbagediskonterede værdi af de fremtidige skadesvirkninger af udledningen. Skadesvirkningerne er voksende i koncentrationen af drivhusgasser, og denne er voksende over tid. Det betyder for det første, at den optimale betaling for CO<sub>2</sub>-udledningen overstiger den øjeblikkelige skadesvirkning – nuværende generationer betaler for, at fremtidige generationer får lavere skadesvirkninger som følge af udledningen. For det andet betyder sammenhængen, at den optimale betaling for CO<sub>2</sub>-udledning er voksende over tid, fordi skadesvirkningerne er voksende over tid. Det fører til, at den optimale regulering af drivhusgasudledningen bliver gradvist strammere over tid.

Stabilisering af drivhusgaskoncentrationen og dermed skadesvirkningerne af udledningerne stiller større krav til reguleringen i en situation med vækst i den globale økonomi. For at fastholde koncentrationen af drivhusgasser i en situation med forøget produktion skal betalingen for udledningen hæves. Selvom der er en historisk tendens til afkobling mellem produktion og energiforbrug gennem højere energieffektivitet og også en afkobling mellem energiforbrug og CO<sub>2</sub>-udledning gennem en teknologisk udvikling af fornybare energikilder, vil en forøget produktion – alt andet lige – være forbundet med forøget udledning af drivhusgasser. Hertil kommer, at det ikke er ligegyldigt, hvor på kloden, at den globale vækst finder sted. Således har de seneste års kraftige økonomiske vækst i lande som Kina og Indien betydet, at tendensen til afkobling mellem økonomisk aktivitet og energiforbruget er væsentligt reduceret i forhold til tidligere. Det skyldes, at energiintensiteten er meget høj i de lande, som har haft den største vækst.

Der er således et yderst kompliceret samspil mellem på den ene side befolkningsvækst, økonomisk vækst og teknologisk udvikling som afgørende elementer i udviklingen i den samlede drivhusgasudledning og på den anden side tilbagespillet af klimaeffekten af drivhusgasudledningen på den økonomiske og den miljømæssige udvikling. Det er en vigtig tværvideenskabelig udfordring at udvikle redskaber, der kan belyse denne sammenhæng og konsekvenserne af forskellige former for politik, som kan frembringe den rette balance mellem de fordele, der over en lang tidshorizont er knyttet til reduktion af udledninger, og de omkostninger som er knyttet hertil.

### 3. DICE modellen: økonomisk aktivitet og klimaændringer

Et økonomisk bidrag til at undersøge konsekvenser af forskellige former for klimapolitik er opbygning af økonomiske og empirisk baserede globale modeller. En væsentlig bidrager på dette felt er William D. Nordhaus, som allerede i 1991 havde udviklet DICE-modellen, som er en global dynamisk optimeringsmodel udviklet henblik på at bestemme optimale forløb for reduktioner af drivhusgasser. Efterfølgende er modellen udbygget og opdateret, jf. Nordhaus (2008) som den efterfølgende beskrivelse bygger på.

Modellen beskriver udviklingen over tid i den samlede produktion, forbrug og kapitalakkumulering i verden. Der tages udgangspunkt i en given befolkningsudvikling, som i den seneste version indebærer, at verdens befolkning gradvist vokser til ca. 8,5 mia. personer frem mod år 2200, hvilket er lidt lavere end FN's seneste befolkningsfremskrivning. Produktionen leder til en udledning af CO<sub>2</sub>. Den teknologiske udvikling (som er eksogen) antages gradvist at føre til en faldende CO<sub>2</sub>-intensitet i produktionen, dels gennem generelle tekniske fremskridt og dels gennem CO<sub>2</sub>-reducerende tekniske fremskridt. Modellen indeholder herudover en back-stop-teknologi, som gør det muligt at producere CO<sub>2</sub>-neutralt. Prisen på denne teknologi er initialt meget høj (marginalprisen for et ton CO<sub>2</sub> er initialt 330 \$, hvis den samlede produktion skal være CO<sub>2</sub>-fri), men aftager over tid og udgør i år 2100 knap 260 \$ i faste priser. Back-stop-teknologien og en antaget ressourcebegrænsning på mængden af fossilt brændstof, som fører til en voksende ressourceente over tid, betyder tilsammen, at den langsigtede stabilisering af CO<sub>2</sub> udledningen alt andet lige opnås på et lavere niveau. For den "kortsigtede" CO<sub>2</sub>-politik frem til slutningen af dette århundrede, angives dette kun at have en begrænset effekt.

Herudover indeholder modellen en beskrivelse af den geofysiske akkumulation af CO<sub>2</sub> i henholdsvis atmosfæren, den øvre del af havene og de dybe oceaner. Der foregår en forholdsvis hurtig udveksling af CO<sub>2</sub> mellem atmosfæren og den øvre del af havene, mens de dybe oceaner fungerer som et stort langsigtet dræn for CO<sub>2</sub>. Dette samspil giver sammen med udledningen af CO<sub>2</sub> en beskrivelse af udviklingen af koncentrationen af CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Koncentrationen af CO<sub>2</sub> i atmosfæren påvirker temperaturen såvel i luften som i havene og fører hermed et tilbagespil på hvor meget CO<sub>2</sub>, der optages i havene. Temperaturstigningen fører på sin side til et tab af produktion. Tabsfunktionen er eksponentielt voksende, således at en temperaturstigning på 1 grad giver anledning til et fald i produktionen på 1/2 pct., 2 graders temperaturstigning giver et fald på godt 1 pct., mens 3 graders stigning giver et fald på 2 1/2 pct. og f.eks. 6 graders temperaturstigning giver et fald i produktionsniveauet på ca. 10 pct. Tabsfunktionen giver således omkostningerne ved temperaturstigningen og er i samme størrelsesorden som IPPs, jf. IPCC (2007).

Der er naturligvis tale om meget forsimplede beskrivelser af nogle endog særdeles komplekse samspil, og usikkerheden på sådanne meget langsigtede fremskrivninger er naturligvis meget stor. Imidlertid er opbygning af denne type modeller af stor betydning for at kunne tilret-

telægge en hensigtsmæssig og omkostningseffektiv regulering af drivhusgasudledningen over tid. Det er således et nødvendigt redskab, hvis man på en konsistent baggrund ønsker at sammenligne alternative former for klimapolitik og samtidig vurdere både hvilke af de mange samspil, der er kritiske for de opnåede resultater, og hvilke der ikke er.

Modellens udgangspunkt for vurdering af klimapolitikken (og andre typer politik) er en social velfærdsfunktion, som sammenvejer velfærden (nytten) for enkeltindivider både på et givet tidspunkt og over tid. Der er tale om en simpel standardnyttefunktion, hvor nytte på et givet tidspunkt (elementarnytten) findes som en funktion af det gennemsnitlige forbrugsniveau pr. person multipliceret med befolkningens størrelse. Elementarnyttefunktionen har aftagende marginalnytte af forbrug, således at givne stigning i forbruget pr. person giver anledning til en lavere stigning i den samlede elementarnytte, jo større det oprindelige gennemsnitlige forbrug er. Den samlede sociale velfærd findes ved at sammenveje nytte for den givne befolkning på ethvert tidspunkt. Sammenvejningen af nytter på forskellige tidspunkter sker ved anvendelse af en konstant positiv tidspræferencerate, således at fremtidige generationer – alt andet lige – vejer mindre end nuværende generationer i den samlede sociale velfærdsfunktion. I den seneste version af DICE anvender Nordhaus en tidspræferencerate på 1,5 pct.

I en økonomi med økonomisk vækst, der fører til større forbrug pr. person, er der således to årsager til, at de marginale forbrugsmuligheder for fremtidige generationer får mindre vægt, end de har for nuværende generationer. For det første betyder den positive tidspræference, at et marginals forbrugstab i fremtiden i sig selv betyder mindre, men hertil kommer for det andet, at en positiv vækst betyder et højere gennemsnitligt forbrug for fremtidige generationer, og dette større forbrug betyder også isoleret, at nytтетabet ved en given forbrugsreduktion er mindre for fremtidige generationer. Hvis begge komponenter har et betydeligt niveau, reduceres den optimale regulering af CO<sub>2</sub>-udledningen på kortere sigt. Det er således også disse komponenter, der har tiltrukket sig mest opmærksomhed i den økonomiske del af klimadebatten, jf. nedenfor.

Klimapolitikken fastlægges med henblik på at sikre den højst mulige værdi af den sociale velfærdsfunktion givet produktionsmulighederne og den negative virkning på produktionen af en højere temperatur, som fremkommer som følge af den historiske CO<sub>2</sub>-udledning. Som i en standard neoklassisk vækstmodel med substitutionsmuligheder mellem kapital og arbejdskraft kan samfundet investere i produceret kapital ved at afstå fra forbrug i dag, for at øge forbruget i fremtiden. Herudover kan samfundet i DICE-modellen investere i emissionsreduktioner ved at nedbringe den nuværende produktion og det nuværende forbrug. Emissionsreduktioner i den udvidede model er analoge til investeringer i standard vækstmodellen. Beholdningen af drivhusgasser kan betragtes som negativ kapital og emissionsreduktioner formindsker mængden af negativ kapital. Reduktion af forbrug i dag kan frigøre ressourcer, som kan anvendes til at reducere skadelige klimaændringer og dermed forøge forbrugsmulighederne eller velfærden i fremtiden.

Fundamentalt set er klimapolitik derfor et trade-off, som samfundet står over for, mellem forbrug i dag og forbrug i morgen. Ved at gøre en indsats for at reducere emissioner af drivhusgasser reduceres muligheder for forbrug og produktive investeringer. Belønningen for denne indsats er mindre skader og derfor større forbrug i fremtiden (skader på landbrug, kystlinier, økosystemer og mulighederne for katastrofale klimaændringer).

### 3.1. Business-as-usual forløb

Som udgangspunkt for diskussionen af den optimale regulering af CO<sub>2</sub>-udledningen beregnes et forløb for den økonomiske udvikling, hvor der ikke findes en international regulering af CO<sub>2</sub>-udledninger. Man kan opfatte beregningen som en fremskrivning af udviklingen fra 2005, hvis der ikke var indgået en Kyoto-aftale. Investeringer i fysisk kapital vælges optimalt ud fra et kriterium om at maksimere den sociale velfærdsfunktion, når der ses bort fra muligheden for at føre klimapolitik.

Resultatet er, at med de anvendte forudsætninger vokser det gennemsnitlige forbrug med ca. 1,3 pct. pr. år igennem dette århundrede. Det svarer til knap en 4-dobling af det gennemsnitlige forbrug frem til år 2100. Udledningen af CO<sub>2</sub> vokser fra de nuværende 30 mia. ton CO<sub>2</sub> pr. år over et niveau på omkring 50 mia. ton omkring 2050 til et niveau på over 70 mia. ton CO<sub>2</sub> pr. år i 2100. Der er således en betydelig afkobling af CO<sub>2</sub>-udledningen fra udviklingen i produktionen som omtrent 5-dobles (fordi befolkningen også vokser), mens CO<sub>2</sub>-udledningen 2 1/2-dobles. Den fortsatte stigning i udledningen har markante konsekvenser for CO<sub>2</sub>-koncentrationen i atmosfæren, der stiger fra de nuværende 380 ppm til godt 500 ppm i 2050 og til 685 ppm i 2100. Der er yderligere vækst gennem det 22. århundrede, og beregningen giver som resultat, at CO<sub>2</sub>-koncentrationen bliver knap 1200 ppm. i år 2200. Dette forløb skal blot illustrere, at en ureguleret CO<sub>2</sub>-udledning vil føre til koncentrationer af CO<sub>2</sub> i atmosfæren, som ligger meget langt fra det historiske niveau.

Med det geofysiske system i DICE-modellen fører stigningen i CO<sub>2</sub>-koncentrationen til en temperaturstigning på 1,8 grad i 2050, når stigningen – som det er almindeligt i klimalitteraturen – måles i forhold til år 1900 (og godt 1 grad i forhold til det nuværende niveau). Frem mod år 2100 fører den forøgede CO<sub>2</sub>-koncentration til en stigning på godt 3 grader i forhold til år 1900. I løbet af det næste århundrede vokser denne stigning til 5,3 grad.

Konklusionen er således, at en ureguleret fortsat CO<sub>2</sub>-udledning ikke er bæredygtig. Væksten i udledningen vil fortsætte og føre til så høje koncentrationer af CO<sub>2</sub> i atmosfæren, at det ligger ud over hvad eksisterende klimamodeller kan vurdere. Det er imidlertid også en konklusion, at der er en meget betydelig træghed i det samlede system. Stigninger i udledningen, som finder sted i de kommende år, vil først for alvor påvirke klima og temperaturudvikling i sidste halvdel af århundredet og ind i det næste århundrede.

### 3.2. Optimal klimapolitik

Som alternativ til business-as-usual forløbet kan DICE-modellen anvendes til at vurdere den økonomiske og klimatiske udvikling i en situation, hvor der gennemføres en optimal regulering af CO<sub>2</sub>-udledningen. Den optimale regulering findes, som nævnt ovenfor ved fastsætte prisen på udledningen, således at den svarer til den tilbagediskonterede værdi af de fremtidige marginale skadesomkostninger. Da skadesomkostningerne er en konsekvens af temperaturstigningerne, som indtræder med en betydelig forsinkelse i forhold til udledningerne, vil nutidsværdien i starten være begrænset, fordi det aktuelle niveau for CO<sub>2</sub>-koncentrationen er lavere end det fremtidige. I takt med at CO<sub>2</sub>-koncentrationen stiger, og de marginale skadesvirkninger på kort sigt derfor bliver større, vil den optimale betaling for CO<sub>2</sub>-udledningen også stige.

Første hovedresultat er, at reguleringen af CO<sub>2</sub>-udledningen ikke nævneværdigt påvirker udviklingen i det gennemsnitlige forbrug pr. person frem til år 2100. Den optimale regulering af CO<sub>2</sub>-udledningen har således stort set ikke nogen omkostninger målt på gennemsnitsforbruget pr. person frem til år 2100. Reguleringen giver dog anledning til potentielle omfordelinger, idet provenuet fra reguleringen er gradvist voksende fra initialt 1/2 pct. til ca. 1 pct. af forbruget i sidste halvdel af århundredet.

Den optimale pris på CO<sub>2</sub>-udledning pr. ton er godt 9 \$ i år 2010 (hvilket kan sammenlignes med den aktuelle meget lave CO<sub>2</sub>-kvotepris i EU's kvote system på godt 8 1/2 €, hvilket svarer til 10-11 \$). I 2015 er prisen vokset til godt 11 \$ i faste 2005 priser, mens den er 25 \$ i 2050 og 55 \$ i år 2100. Det er således ret begrænsede udgifter pr. udledt ton CO<sub>2</sub>, som følge af den optimale CO<sub>2</sub>-regulering. Det bemærkes, at det er forudsat, at reguleringen er omkostningseffektiv, idet alle udledninger over alt i verden antages reguleret. Til sammenligning udgør udledningen fra de lande, som i dag har forpligtet sig til reduktion i CO<sub>2</sub>-udledningerne kun 29 pct. af den samlede udledning. Den samlede tilbagediskonterede værdi af reduktionsomkostningerne er 2,16 billioner \$. Den tilbagediskonterede værdi af de formindskede reduktioner i produktionen som følge af lavere temperaturstigning svarer til 5,23 billioner \$, hvilket giver et gevinst/omkostningsforhold på 2,4, når der sammenlignes med business-as-usual forløbet.

Udledningen af CO<sub>2</sub> vokser fra de nuværende 30 mia. ton pr. år til et niveau på omkring 35 mia. ton omkring 2050, hvilket er 15 mia. ton lavere end i business-as-usual forløbet. I år 2100 er udledningerne vokset til på 41 mia. ton CO<sub>2</sub> pr. år, hvilket er ca. 30 mia. ton lavere end i business-as-usual forløbet. Det er bemærkelsesværdigt, at selvom udledningen begrænses væsentligt i forhold til det uregulerede forløb, vil udledningerne fortsat stige gennem hele dette århundrede for så at stabilisere sig på omkring niveauet ved udgangen af århundredet. Der er således tale om en meget langsom tilpasning. Den fortsatte stigning i udledningen betyder, at også koncentrationen af CO<sub>2</sub> er fortsat stigende gennem århundredet. CO<sub>2</sub>-koncentrationen stiger fra de nuværende 380 ppm til godt 480 ppm i 2050 (svarende til et minus på 27 ppm i forhold til det uregulerede forløb) og til 586 ppm i 2100 (et minus på

100 ppm). Det er først i næste århundrede, at stabiliseringen af udledningen for alvor slår igennem på koncentrationen, således at den stabiliseres omkring 660 ppm i år 2200, hvilket er mere end 500 ppm lavere end i business-as-usual forløbet. Den temperaturstigning (i forhold til år 1900), der følger af den forøgede CO<sub>2</sub>-koncentration er på 1,7 grad i år 2050 og på 2,61 grad i år 2100. Det er henholdsvis 0,1 grad og 0,5 grad mindre end i det uregulerede forløb. I år 2200 er temperaturen forøget med 3,5 grad hvilket er 1,8 grad lavere end i det uregulerede forløb.

Det tidsmæssig forløb af den optimale pris på udledningen af CO<sub>2</sub> afspejler således et forløb med stigende reduktionsrater. Hvad er baggrunden for et sådant stigningsforløb? I en verden hvor kapital er produktiv og skaden fremkommer langt ude i fremtiden, fremkommer de højeste afkast på kort og mellemlangt sigt antagelig ved investering i teknologi og menneskelig kapital. Starter man med meget høje afgifter på CO<sub>2</sub>-udledningen vil en betydelig del af kapitaludrustningen (f.eks. kraftværker) blive økonomisk forældede væsentlig før de er fysisk forældede. I de efterfølgende årtier vil skaderne stige i forhold til produktionen, og når dette indtræder, bliver det hensigtsmæssigt at satse på mere intensive emissionsreduktioner og tilhørende strammere CO<sub>2</sub>-regulering. Den præcise timing af emissionsreduktioner afhænger af forhold som omkostninger, skader, læring og i hvilken grad klimaændringer og skader er ikke- lineære og irreversible.

For en sådan politik med en væsentlig stramning i CO<sub>2</sub>-reguleringen over tid er det vigtigt, at disse stramninger fremgår klart fra starten, således at den langsigtede teknologiudvikling og virksomhedernes kapitalinvesteringer påvirkes. Der er dog et væsentligt problem knyttet til et sådant forløb, som starter med små reduktioner i de nærmeste år for dernæst at tiltage til markante reduktioner. Man kan argumentere for, at en annoncering af markante reduktioner om 50 år, men kun små reduktioner nu vil ikke være troværdig og derfor ikke i tide fremkalde den nødvendige fremtidige tilpasning. Det skyldes fundamentalt, at nutidige beslutningstagere ikke kan binde fremtidige beslutningstagere, og dette kan skabe usikkerhed. Derfor kan det være et argument for at tage væsentlige reduktioner nu for at overbevise om, at der på længere sigt skal opnås markante reduktioner.

Endvidere må en praktisk form for klimapolitik basere sig på forhandlede korttidsmål f.eks. for en 5-års periode som Kyoto-aftalen, som ændres over tid. Med meget store usikkerheder kan man ikke forvente, at forhandlingsparterne i en klimaaf tale forpligtiger sig til langtidsaftaler, og det kan også være inefficiet at gøre noget sådant på grund af muligheder for at opnå ny viden og information om skaderne og om nye teknologier. På lang sigt er det vigtigt, at virksomheder konfronteres med de rette incitamenter for at indføre nye og renere teknologier.

### 3.3. "The Stern review" og betydningen af diskontering

Resultatet om at den optimale politik indebærer, at udledningen af CO<sub>2</sub> fortsat vil være voksende, står i skarp kontrast til anbefalingerne i den omfattende analyse i den såkaldte Stern-rapport, jf. Stern (2006). En anbefaling i denne rapport er, at udledningerne i 2050 er reduceret med 30 til 70 pct. i forhold til det nuværende niveau. Denne markante forskel skyldes kun i begrænset omfang forskelle i vurderingen af betydningen af CO<sub>2</sub>-udledningen på CO<sub>2</sub>-koncentrationen og dermed temperaturstigningen. Heller ikke vurderingen af tilbagespillet fra klimaændringer til den økonomiske udvikling vurderes at være væsentligt forskellige. Forskellen i resultatet kan forklares ved forskelle i antagelserne om diskonteringsraten. Stern-rapporten anvender en meget lav tidspræferencerate på 0,1 pct. ud fra en etisk overvejelse om at tillægge fremtidige generationer samme vægt i velfærds målet som nuværende generationer. I rapporten argumenteres for den svagt positive værdi ved at henvise til risikoen for, at menneskeracen uddør.

Nordhaus gennemfører beregninger på DICE med Stern-rapportens diskonteringsantagelser og finder, at den optimale politik i dette tilfælde indebærer, at udledningen i 2050 reduceres til knap 15 mia. ton CO<sub>2</sub>, hvilket er omkring en halvering af det nuværende udledningsniveau. CO<sub>2</sub>-koncentrationen i denne beregning toppe omkring 2050 på et niveau på 420 ppm, og koncentrationen aftager herefter mod et niveau, der svarer til det nuværende gennem det 22. århundrede. Prisen for denne reduktion er, at den optimale pris på CO<sub>2</sub> tidobles på det helt korte sigt og samtidig vokser med en lavere vækstrate end med de oprindelige værdier for diskontering. Der er således en betydelig fremrykning af betalingen for klimaforbedringerne med disse antagelser.

Den meget markante stigning i den optimale pris på CO<sub>2</sub>-udledninger skyldes dels den bevidst valgte større vægt på fremtidige generationers velfærd i den sociale velfærdsfunktion, som indebærer, at værdien af den tabte fremtidige produktion som følge af temperaturstigninger får markant større vægt i funktionen. Men det skyldes også, at den lavere diskontering sænker det marginale afkast af fysiske investeringer, og derfor reducerer velfærdsgevinsten ved fysiske investeringer. Nordhaus argumenterer på denne baggrund for, at den anvendte tidspræferencerate og krumningen i elementarnyttefunktionen tilsammen bør afspejle markedsværdien af afkastet på kapital. En lav tidspræferencerate bør – ifølge Nordhaus – dermed også føre til et kraftigere fald i marginalnytten ved stigende forbrug og således en større præference for intergenerational lighed. Simulationer med DICE, hvor tidspræferencen er reduceret, men krumningen i elementarnyttefunktionen er forøget således, at modellen har samme effektive diskonteringsrate som i Nordhaus' oprindelige specifikation indebærer, at den optimale udvikling i prisen på CO<sub>2</sub> stort set svarer til Nordhaus' oprindelige simulationer.

Andre økonomer er dog på linie med Stern og anbefaler en lav diskonteringsrate. Hoel & Sterner (2007) argumenterer for en lav diskontoeringsrate i den simple vækstmodel med én aggregeret vare, fordi dette repræsenterer en tilnærmelse til en mere kompleks situation, hvor forbrugerne ud over den generelle vare også har nytte af en vare, som ikke

vokser i takt med den økonomiske vækst, f.eks. et naturgode. I en økonomi, hvor der er vækst, vil den relative pris på naturgodet vokse over tid i takt med, at den relative knaphed på dette gode vokser. Dette kan føre til, at naturgodets budgetandel er voksende. Det betyder, at væksten i det samlede forbrugsaggregat over tid reduceres markant, således at den effektive diskontering bliver lavere, end den simple vækstmodel ville tilsige. Sterner og Persson gennemfører simulationer på en version af DICE, som er udvidet med et miljøgode, men i øvrigt med antagelser, der svarer til de af Nordhaus anvendte. Forfatterne finder, at i dette tilfælde vil den initiale pris på CO<sub>2</sub>-udledninger være højere end Nordhaus', men lavere end med Sterns antagelser. Imidlertid vil stigningen i prisen på CO<sub>2</sub> over tid være endnu stejlere end i Nordhaus tilfælde og vil omkring 2050 overstige prisen med Sterns forudsætninger. Der er således i dette forløb en kraftig reduktion i udledningerne gennem anden halvdel af dette århundrede.

#### 4. Kvoter eller afgifter som styringsinstrument

Mens fokus hidtil har været på udviklingen i reguleringen over tid, diskuteres i dette afsnit hvilket virkemiddel der mest hensigtsmæssigt kan anvendes til reguleringen. Udgangspunktet er, at mængden af CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser spredes og blandes i atmosfæren og effekten på det globale klima er uafhængig af, hvor udledningen af gasserne finder sted. Denne egenskab er specielt for drivhusgasser, som derved afviger fra andre former for forurening, hvor skadevirkningerne ofte afhænger af, hvor udledningen finder sted, hvilket gør enhver form for regulering mere kompliceret. Selvom skadevirkningerne er uafhængige af udledningssted, vil skaden på de enkelte lokaliteter af øget beholdning af drivhusgasser variere. Disse forhold gør, at økonomiske virkemidler er særdeles anvendelige til at opnå omkostningseffektive løsninger på drivhusgasproblemet og skabe incitamenter for teknologiske forbedringer. Administrativ regulering vurderes i almindelighed til at ville medføre for høje omkostninger.

Dette giver et valg mellem mængde- eller prisregulering – mellem omsættelige kvotesystemer eller koordinerede skatter. Både et system med afgifter på udledninger og et system med omsættelige kvoter (tilladelser til at udlede) afdækker information om de marginale reduktionsomkostninger hos forurenerne. De forurenerne, som har marginale reduktionsomkostninger, der er lavere end afgiften eller kvoteprisen, vil vælge at reducere, mens de forurenerne, der har højere marginale reduktionsomkostninger vil vælge at betale afgiften eller prisen for kvoten. Dermed sikres den ønskede reduktion til lavest mulige omkostninger. I denne forstand virker omsættelige kvoter på samme måde som udledningsafgifter.

Men usikkerhed giver anledning til forskel mellem pris- og mængderegulering. Omsættelige kvotesystemer overvælter usikkerheden på prisen, mens afgiftssystemer overvælter usikkerheden på udledningsomfanget. For valget mellem de to typer af virkemidler gælder et væsentligt resultat af Martin Weitzman (Weitzman 1974). Resultatet blev udledt for et strømforureningsproblem, hvor udledningen ønskes begrænset i en given periode. Under fuld information er der ikke forskel

med hensyn til brug af udledningsskatter eller omsættelige kvoter. I dette tilfælde har reguleringsmyndigheden de korrekte oplysninger om marginale renseomkostninger hos virksomheden og marginale skadesomkostninger for samfundet. I dette tilfælde opnås samme resultat, hvad enten den bruger det ene eller det andet virkemiddel.

Hvis der foreligger usikkerhed om virksomhedernes marginale reduktionsomkostninger har de to typer regulering imidlertid forskellig virkning. Med en skat tilpasser virksomhederne sig, således at de marginale skadesomkostninger svarer til skatten. Med omsættelige kvoter kommer udledningen til at svare til mængden af kvoter. På grund af mangel på information får man med begge virkemidler en udledning som ikke er optimal, men forskellig. Spørgsmålet er så, hvilket virkemiddel, der giver det mindste tab. Det var dette spørgsmål, som Weitzman afklarede. Intuitionen bag hans resultat er enkel. Hvis de marginale skadesomkostninger knyttet til udledninger pludselig bliver stærkt stigende (f.eks. på grund af helbredsskader) vil omsættelige kvoter, som fastlægger en grænse for hvad der i alt må udledes, være at foretrække (giver mindst velfærdstab). Men hvis de marginale skadesomkostninger er relativt flade vil udledningsskatter være at foretrække. Usikkerhed omkring de marginale skadesomkostninger for samfundet har derimod ikke betydning for valget mellem de to typer af virkemidler. Virksomhederne reagerer ud fra deres marginale omkostninger, som i dette tilfælde er kendt. Skat og kvoter fastsættes derfor så de medfører samme udledning.

Weitzman's resultat gælder i modificeret form, når skadevirkningerne er relateret til akkumulerede udledninger i stedet for strøm udledning. Skadevirkningen ved yderligere udledning af en enhed af en drivhusgas er så knyttet til hele perioden, indtil nedbrydning af drivhusgassen har fundet sted. Opgørelse af den totale skadevirkning kræver derfor at omkostninger, der foreligger på forskellige tidspunkter gøres sammenlignelige ved hjælp af en diskontering rate. Usikkerheden, der er indført i analysen, kan være fremkommet ved en række omkostningschok over tid og evt. sammenhæng mellem disse får også betydning. I kriteriet for valg mellem de to typer af virkemidler, skal der så korrigeres for diskontering, nedbrydningsrate og potentiel korrelation af omkostningschok over tid. Marginale skadevirkningerne knyttet til beholdningen af drivhusgasser er kun i meget beskedent omfang knyttet til udledning i en enkelt periode, medens marginale reduktionsomkostninger er knyttet til en enkelt periode. Derfor betragtes skadesomkostningskurven som mere flad end reduktionsomkostningskurven, hvilket betyder, at styring via skatter er det optimale.

Debatten omkring klimapolitik har fokuseret på mængdekontrol på grund af politisk appeal. Simulationsresultater viser dog, at priskontrol er mest hensigtsmæssig. W.A. Pizer (2002) har i en stokastisk version af Nordhaus' model beregnet, at den forventede velfærdsgevinst fra optimal prispolitik er fem gange større end fra optimal mængde politik. Endvidere at en kombineret politik, som anvender omsættelige kvoter, men tillader yderligere kvoter til salg til en fast øvre pris (prisloft), vil give mulighed for væsentlige gevinster i forhold til ren mængde regule-

ring. En sådan hybrid politik kan derfor være et attraktivt alternativ. En væsentlig tærskelværdi, hvis overskridelse giver anledning markante effekter, kan dog ændre fordelagtigheden af skatter.

Diskussionen om kvoter kontra afgifter er imidlertid ikke alene et spørgsmål om effciens, men også et spørgsmål om sammenhængen mellem omkostningseffektivitet og fordeling af omkostningerne mellem de lande der deltager i reduktionen af CO<sub>2</sub>-udledningen.

Kina vil snart overgå USA som verdens største udleder af drivhus gasser og udviklingslandene vil sandsynligvis stå over halvdelen af drivhusgasudledningen i 2020. Som argumenteret i Mortensen & Pedersen (2008) er det nødvendigt at en global aftale om CO<sub>2</sub>-reduktioner inkluderer alle lande, for at gøre aftalen effektiv. Man kan imidlertid argumentere for at industrilandene bør tage de første skridt mod at reducere udledninger, da de er ansvarlige for det meste af den menneskeskabte beholdning af drivhusgasser i atmosfæren. Udviklingslandene har imidlertid de største muligheder for reduktioner til lave omkostninger. Hvis ikke udviklingslandene inkluderes i en aftale risikerer man endvidere, at produktionen af CO<sub>2</sub>-intensive goder flytter til disse lande. Dette vil øge udledningen fra udviklingslandene og modvirke reduktionen, som finder sted i i-landene. Tilslutning til aftale for udviklingslandene kan efterfølgende blive vanskeligere. Det er derfor vigtigt at skabe incitamenter for, at udviklingslandene vil tilslutte sig en ny aftale.

Ud fra miljø- og økonomiske effektivitets hensyn bør u-landene inddrages, men ud fra hensyn til lighed og politisk pragmatisme bør de ikke belastes med omkostningerne. Disse to hensyn kan dog forenes. Man kan opbygge et system, hvor i-lande vedtager en række reduktioner, som man realiserer via et omsætteligt kvotesystem. For at skabe incitamenter for at udviklingslande vil deltage i aftalen tilbydes disse lande kvoter svarende til deres forventede udledninger. Den samlede reduktion vil da svare til i-landenes reduktioner, men de samlede omkostninger vil blive lavere, idet en række reduktioner med lave omkostninger i udviklingslandene kan udnyttes. Både u-lande og i-lande kan få en gevinst. Omkostningseffektivitet og fordelingshensyn kan forenes i et kvotesystem via tildeling af kvoter.

Ved regulering via skatter kan man opnå noget tilsvarende, hvis provenuet indbetales til en global myndighed, som tilbagebetaler dette provenu i overensstemmelse med fordelingsønsker. En sådan overnational opkrævning af afgifter anses imidlertid for politisk urealistisk. En eventuel prisløsning kan derfor bestå i harmoniserede nationale udledningsafgifter, En sådan vil sikre omkostningseffektivitet, men lægge stærke begrænsninger på realisering af fordelingsønsker.

## 5. Afslutning

Klimapolitikken rummer en række markante udfordringer og problemer, som vanskeliggør analyser og beslutninger. Vanskeligheder som markedsfejl, problemer der udspringer af en manglende international myndighed, som kan beslutte og regulere, samt det forhold at internationa-

le aftaler er frivillige aftaler, som indgås mellem suveræne stater med mulighed for at free-ride. Hertil kommer de dynamiske aspekter, ufuldstændig viden og den markante usikkerhed, som er knyttet til det meget lange sigt, som er relevant for klimapolitikken. Politikken på dette område er kendetegnet ved at tidshorizonten er væsentlig længere end for andre store internationale politikproblemer. Endvidere kommer udgifterne til klimabeskyttelse fra start, medens fordelene først vil vise sig på meget lang sigt. Disse forhold skaber problemer for beslutningstagere, som er valgt for en væsentlig kortere periode og som har begrænsede muligheder for binde fremtidige beslutningstagere. Kort tidshorizont for politisk realistiske klimaaftaler skaber imidlertid usikkerhed om, hvor stram den fremtidige klimapolitik vil blive. Dette reducerer incitamenterne til teknologiudvikling og omstillinger i klimavenlig retning.

Internationale aftaler forudsætter både, at man bliver enige om et globalt mål for reduktioner over tid og den dertil knyttede byrdefordeling mellem deltagerne. Et økonomisk bidrag er naturligvis at sikre, at den byrde som skal fordeles i forbindelse med at realiseringen af reduktioner er så lille som mulig. Denne opgave har både et tidsperspektiv, en indsigt i egenskaberne ved forskellige styringsmidler og samspillet mellem disse, når flere instrumenter anvendes.

Når der skal vælges markedsbaserede eller økonomiske virkemidler i klimapolitikken står valget mellem mængde- eller prisregulering. I de senere år har mængderegulering i form af omsættelige kvotesystemer for CO<sub>2</sub>-udledning haft stor politisk bevågenhed, og interessen har i EU også ført til nye typer af kvotesystemer, såsom grønne og hvide certifikater for at fremme henholdsvis vedvarende energi og energibesparelser. Sådanne kvotesystemer er blevet indført, uden at det er blevet påvist, at disse systemer skulle være mere fordelagtige end alternativ prisregulering i form af afgifter.



## Litteratur

- Halsnæs, K., 2009, 'Omkostningerne ved drivhusgasreduktion – globale perspektiver', Samfundsøkonomen, no. 2 (dette nummer)
- Hoel, M. & T. Sterner, 2006, 'Discounting and Relative Prices', Climate Change, Springer Verlag
- Intergovernment Panel on Climate Change (IPCC), 2007, 'Climate Change 2007: Synthesis Report'
- Mortensen, J. B. & Pedersen, L. H. 2008, 'Gode intentioner, men plads til forbedringer i klimapolitikken', Samfundsøkonomen, no. 4.
- Nordhaus, W. D. 1991, 'To Slow or not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect', The Economic Journal, vol. 101, July, pp. 920-938.
- Nordhaus, W. D. 2008: 'A Question of Balance', Yale University Press, New Haven & London
- Nordhaus, W.D & J. Boyer (2000): Warming the World: Economic Models of Global Warming. MIT Press, Cambridge.
- Olmstead, S.M., & Stavins, R.N. 2006, 'An International Policy Architecture for the Post-Kyoto Era' American Economic Review, Paper and Proceedings, vol 96, no 2, pp. .
- Olmstead, S.M., & Stavins, R.N. 2007 'A Meaningful Second Commitment Period for the Kyoto Protocol', Economist Voice, may.
- Pizer, W. A. 2002, 'Combining price and quantity control to mitigate global climate change', Journal of Public Economics, vol. 85, no.3, pp. 409-434.
- Stern, N. S., 2006, 'Stern Review: The Economics of Climate Change', H. M. Treasury, London.
- Sterner, T. & M. Persson, 2008, 'An even Sterner Review', Working paper
- Weitzman, M.L 1974: 'Prices versus Quantities'. Review of Economic Studies, vol 41, no 4, pp. 477-491.