

**MICHAEL HOEL**  
Professor, Økonomisk Institutt, Universitetet i Oslo

**BJART HOLTSMARK**  
Forsker, Statistisk sentralbyrå



# Utviklingslandene bestemmer klimautviklingen

Økonomiske analyser tyder på at betydelige reduksjoner i globale klimagassutslipp er fornuftig. Spørsmålet er likevel om det er mulig å samle verden til å gjennomføre dette. Enkeltlands incentiver til å foreta utslippsreduksjoner er svært små, og gevinstene kommer i hovedsak først i andre halvdel av dette århundret og enda senere. Skal man i vesentlig grad påvirke klimautviklingen, vil det kreve meget omfattende utslippsreduksjoner i hele verden, inkludert alle u-landene.

## 1 INNLEDNING

Den økende konsentrasjonen av klimagasser påvirker varmebalansen i atmosfæren og medfører betydelige klimaendringer og et stigende havnivå. Det kan medføre mindre biologisk mangfold, redusert produktivitet i jordbruket i en del regioner, redusert helse i visse områder, mer ekstremvær og lignende. En rekke økonomiske studier konkluderer med at dersom vi unnlater å gjennomføre utslippsreduksjoner, kan de fremtidige kostnadene av disse endringene bli store, særlig i neste århundre og senere.

Det er viktig å understreke klimaproblemets svært langsiktige perspektiv. Klimaendringene som kommer i løpet av første halvpart av dette århundret, kan vi i liten grad påvirke. De er i stor grad gitt av historiske utslipp. Tiltak

for å redusere klimagassutslipp fra nå av vil i hovedsak påvirke klimaet i andre halvdel av dette århundret og i de neste århundrene. I forhold til de fleste andre investeringsbeslutninger kommer altså gevinstene av investeringer i reduserte klimagassutslipp veldig langt frem i tid.

Samtidig er utslippsreduksjoner et globalt kollektivt gode. Atmosfæren er en global «allmenning». Og det er ofte vanskelig å få til en bærekraftig forvaltning av en allmenning dersom det er mange aktører som ønsker å utnytte allmenningen og det samtidig ikke er sentral myndighet som kan regulere de ulike aktørenes tilgang til allmenningen.

På globalt nivå eksisterer det ikke noen overnasjonal myndighet som kan regulere de enkelte aktørers bruk av atmosfæren som allmenning. Riktignok kan man gjennom

internasjonale avtaler bli enige om reguleringsregimer. Men på internasjonalt nivå har man likevel ikke alltid mulighet til å tvinge enkeltstater til å underlegge seg slike regimer. Dermed står man overfor det klassiske problemet at atmosfæren som allmenning står i fare for å bli forringet fordi den enkelte stat har små gevinster av å redusere sine egne utslipp. Selv store land som USA og Kina har overraskende små muligheter til å påvirke klimautviklingen gjennom egne tiltak. Dette vil vi illustrere med et tallseksempel for USA.

I denne artikkelen vil vi først si litt om hva økonomiske studier anbefaler av utslippsreduksjoner, og kortfattet omtale diskusjonen om hva som er optimal klimapolitikk. Deretter gjennomgår vi status for det internasjonale arbeidet med å etablere avtaler for utslippsreduksjoner. Deretter vil vi gjennom noen enkle talleksempel vise at man kan stå foran en rask vekst i globale utslipp dersom verden ikke samler seg for å iverksette tiltak for å redusere utslippene. Med dette som utgangspunkt kan det virke rimelig å tro at man i årene fremover vil se høye priser på utslipp og omfattende utslippsreduksjoner.

I siste del av artikkelen vil vi imidlertid gjennom noen talleksempel vise hvor svake incentiver selv verdens største stater har til å gjennomføre utslippsreduksjoner, og hvor langt frem i tiden gevinstene av utslippsreduksjoner vil materialisere seg. Ser vi dette i sammenheng med det internasjonale samfunns manglende mulighet til å tvinge enkeltstater til å følge opp internasjonale avtaler, blir vår konklusjon er at det kan virke vanskelig å samle verden om raske og omfattende utslippsreduksjoner.

## 2 OPTIMALE UTSLIPPSFORLØP

Utslippsreduksjoner gir umiddelbare kostnader, mens gevinstene kommer i fremtiden. En fornuftig klimapolitikk bør ha en god balanse mellom tiltakskostnader og gevinster i form av reduserte kostnader forbundet med de fremtidige klimaendringene.

Det optimale utslippsforløpet vil være avhengige av tre faktorer: (i) tiltakskostnader, (ii) kostnader av klimaendringene og (iii) diskonteringsrenten (for å kunne sammenligne kostnader og inntekter på ulike tidspunkter).

Når det gjelder tiltakskostnader, gjennomgår Hoel et al. (2009) en rekke studier. Estimaten varierer betydelig,

noe som reflekterer at det er usikkert hvor kostbart det er å redusere utslippene av klimagasser.

Tabell 1 gjengir et lite utvalg av de studiene Hoel et al. (2009) gjennomgår. Stern Review og Yale-professor William Nordhaus's analyser med modellen DICE er sentrale her. For omtrent like klimamål viser Stern Review og DICE-analysene sammenlignbare anslag for totale kostnader, tilnærmet 1-1,5% av BNP, se tabell 1. Studiene fra OECD og IPCC anslår at kostnadene kan bli betydelig høyere. Det er imidlertid grunn til å tro at årsaken til at spesielt OECD-studien har betydelig høyere kostnadene enn Stern og Nordhaus, skyldes en utslippsbane med svært små tiltak i nær fremtid – og tilhørende behov for omfattende tiltak senere.

Det er grunn til å understreke at så å si alle studier av kostnader ved utslippsreduksjoner, herunder de som her er referert, forutsetter en kostnadseffektiv politikk for å redusere utslippene. Det er en sterk forutsetning som betyr at denne typen beregninger anslår hvor lave kostnadene i prinsippet kan bli dersom politikken utformes strengt etter «læreboken» for effektiv ressursutnyttelse. Som følge av en rekke andre hensyn politikere tradisjonelt vektlegger, er det imidlertid sannsynlig at politikerne gjør mange kompromisser i politikkkutforming. I praksis vil derfor kostnadene måtte bli høyere enn denne typen anslag. Hvor mye høyere vil avhenge av i hvor stor grad man er i stand til å benytte kostnadseffektive virkemidler og allokere utslippsreduksjoner kostnadseffektivt mellom land. I den grad dette ikke skjer, vil kostnadene ved omfattende utslippsreduksjoner kunne bli vesentlig høyere enn anslått i de refererte studiene.

Når det gjelder kostnader av klimaendringene, står man også overfor stor usikkerhet. Forholdet mellom konsentrasjon og klimaendring omtales gjerne som «klimasensitivitet», og angir hvor mye den globale gjennomsnittstemperaturen vil øke på lang sikt (i forhold til før-industrielt nivå) ved en dobling av atmosfærisk konsentrasjon av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>-e). I henhold til IPCC (2007a) vil denne koeffisienten ligge innenfor området 2 °C til 4,5 °C, med 3 °C som den mest sannsynlige verdien, og med svært liten sannsynlighet for verdier under 1,5 °C. Verdier høyere enn 4,5 °C kan ikke utelukkes, men i dette området er det mindre samsvar mellom observasjoner og modellresultater. De fleste studier av hva som er en optimal klimapolitikk legger til grunn en klimasensitivitet på

Tabell 1 *Karbonpriser and kostnader ved utslippsreduksjoner.*

	Stabiliseringsmål	CO <sub>2</sub> -pris 2010-2015	CO <sub>2</sub> -pris 2050-2055	Kostnader i prosent av BNP (2050)
Nordhaus, DICE	Maximum 2 °C temperatur økning	US \$ 20	US \$ 83	0,6% <sup>1</sup>
Nordhaus, DICE	420 ppm CO <sub>2</sub>	US \$ 67	US \$ 189	1,4%
Stern Review	550 ppm CO <sub>2</sub> -e			1% (-0,6-3,5%)
IPCC, 2007b	445-535 ppm CO <sub>2</sub> -e			< 5,5%
IPCC, 2007b	535-590 ppm CO <sub>2</sub> -e	US \$ 20-80 (i 2030)	US \$ 30-150	0,1-4%
OECD 2008a	450 ppm CO <sub>2</sub> -e	US \$ 5	US \$ 177	2,5%
OECD 2008b	550 ppm CO <sub>2</sub> -e	US \$ 5	US \$ 400	4,8%

Kilde: Hoel et al. (2009).

3 °C, og det vil også vi gjøre i de regneeksemplene som presenteres i denne artikkelen.

Studiene til William Nordhaus ved Yale University har stått sentralt i diskusjonen om hva som er en optimal utslippsbane, kanskje ikke minst siden Nordhaus var tidlig ute med denne typen analyser. Nordhaus indikerer at det er optimalt å ha et moderat ambisjonsnivå. Nordhaus's modellstudier med modellen DICE, se Nordhaus (2008), tilsier f. eks. at det er optimalt å la CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen øke til 659 ppm i slutten av neste århundre, hvilket innebærer en temperaturøkning på 3,5 °C ved 3 graders sensitivitet. Disse studiene benytter, grovt sett, de samme kostnadene for klimaendringer i fremtiden: For DICE er kostnadene for 3, 4 og 6 °C henholdsvis 2,5%, 4,5% og 10% av verdens samlede BNP. Det er vanskelig å vurdere om disse estimatene er «høye» eller «lave», men antatt kostnad for en økning på 4 °C er godt innenfor det kostnadsområdet som er anslått av IPCC.

Antatt diskonteringsrente er viktig for utfallet av en optimalisering av typen over, ettersom de største klimaendringene vil komme i fjern fremtid. Mange optimaliseringsstudier benytter diskonteringsrenter i området 4 – 5%. I Stern Review argumenteres det for en mye lavere diskonteringsrente, og 1,4% er benyttet i rapportens egne beregninger. Med utgangspunkt i tentative, mindre formaliserte optimaliseringsberegninger, anbefaler Stern Review et konsentrasjonsmål mellom 500 og 550 ppm CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>e).<sup>2</sup> Med en klimasensitivitet på 3 °C vil dette begrense global temperaturøkning til 3 °C eller noe mindre.

Mye av debatten om optimale klimamål er rettet mot diskonteringsrenten. Hva som er «korrekt» diskonteringsrente i dynamiske optimaliseringsanalyser har vært drøftet i stort omfang i mange år i økonomisk litteratur, bl.a. spørsmål knyttet til verdien av observerte markedsdata. Det er relativt stor enighet om at observerte markedsrenter kan benyttes i tidsperspektiver inntil ca 20 år, men det er ikke åpenbart at samme type data kan benyttes for analyser av lengre tidsperspektiver.

Diskonteringsrenten er likevel ikke den eneste viktige faktoren i optimaliseringsanalyser. Hoel og Sterner (2007) peker på at klimaendringene vil kunne gi redusert tilgang på goder som ikke omsettes på noen markeder. Noen av klimaendringenes kostnader vil for eksempel komme i form av redusert biologisk mangfold, redusert helse, ekstremvær og lignende. Klimaendringene kan altså komme til å redusere tilgangen på goder som allerede uten klimaendringer er viktige, begrensede ressurser som vokser sakte eller til og med avtar over tid. Hvis samtidig mengden av produserte markedsgoder vokser raskt, vil vi vente en økt verdsetting av de ikke-markedsbaserte godene som vokser langsomt eller avtar. Dette trekker i retning av at klimaendringene kan bli mer kostbare enn hva som er forutsatt i de fleste analyser. Sterner og Persson (2008) behandler denne problemstillingen i en modell som er nesten identisk med Nordhaus's DICE-modell. Denne modellendringen gir et optimalt utslippsforløp som er betydelig mer restriktivt enn det som beskrives av Nordhaus. Selv når Sterner og Persson benytter Nordhaus's diskonteringsrate på 4,1 %, kommer de frem til at det vil være optimalt med omfattende og raske

<sup>1</sup> DICE-studiene gir nåverdi av kostnadene som prosent av nåverdi av BNP

<sup>2</sup> En konsentrasjon av klimagasser på 500 og 550 ppm CO<sub>2</sub>e, der man inkluderer effekten av økt konsentrasjon av alle klimagassene i atmosfæren, tilsvarer en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon på 450 – 500 ppm.

utslippsreduksjoner som sikrer en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i 2100 på 450 ppm, og som deretter faller.

I vurderingen av hva som er optimal klimapolitikk, er det også relevant å trekke inn at klimasensitiviteten er usikker. Martin Weitzman (2009) fokuserer på mulighetene for at klimasensitiviteten er betydelig høyere enn 3 °C. Med utgangspunkt i tilgjengelig vitenskapelig litteratur på området mener Weitzman at det er 5% sannsynlighet for en klimasensitivitet høyere enn 7 °C og en sannsynlighet på 1% for en sensitivitet høyere enn 10 °C. Han benytter disse forutsetningene i en modell der kostnadene for klimaendringer forutsettes å være høye for store temperaturendringer. Han viser at forventede klimakostnader vil være svært følsomme overfor både sannsynlighetsfordelingen for klimasensitivitet og sammenhengen mellom kostnader og store temperaturøkninger. Weitzman påpeker at de fleste analyser av optimal klimapolitikk ikke tar hensyn til disse forholdene, og at de derfor kan gi misvisende resultater.

Alt i alt er det altså mange gode argumenter som tilsier at det er fornuftig å begrense klimagassutslippene slik at man unngår at konsentrasjonen av klimagasser overstiger 500 – 550 ppm CO<sub>2</sub>e, noe som vil kreve at konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> ikke overstiger 450 – 500 ppm. Det er EUs politikk å oppnå dette, og med en ny administrasjon i USA er det også offisiell amerikansk politikk å få til noe i denne retning.

Betyr dette at det bare er et tidsspørsmål før man står overfor høye priser på utslipp av klimagasser og tilsvarende raske utslippsreduksjoner? Sterke advarsler om at utslippene av klimagasser blir til stor ulempe for fremtidige generasjoner og enighet om at kostnader med å redusere utslipp er tilsynelatende er overkommelige, burde gi som resultat at verden samler seg om omfattende utslippskutt. I avsnitt 6 vil vi imidlertid argumentere for at det neppe er så enkelt, og at det kan virke vel så sannsynlig at det kan bli vanskelig å få i stand et internasjonalt samarbeid om omfattende reduksjoner i utslippene av klimagasser.

### 3 KLIMAKONVENSJONEN OG KYOTO-PROTOKOLLEN

Helt siden begynnelsen av 1980-tallet har det vært internasjonale samtaler og forhandlinger om å få i stand en internasjonal avtale om å begrense utslippene av CO<sub>2</sub> og andre klimagasser. Allerede i 1992 fikk man Klima-

konvensjonen, og i 1997 ble Kyoto-protokollen fremforhandlet. Begge disse avtalene er ratifisert av de fleste av verdens stater.

Mens klimakonvensjonen bare inneholder relativt generelle formuleringer om behovet for utslippskutt, fastsetter Kyoto-protokollen et samlet tak for utslippene i industrilandene for perioden 2008 – 2012. I henhold til denne avtalen skal industrilandenenes samlede utslipp per år i denne perioden ikke overstige 95 % av de samme landenes utslipp i 1990. Ingen av avtalene pålegger u-landene noen forpliktelser om utslippsreduksjoner.

USA, som i dag står for rundt 40 % av industrilandenenes klimagassutslipp, trakk seg fra Kyoto-avtalen allerede i 2001. Dermed setter Kyoto-avtalen et tak på de samlede utslippene til industrilandene utenom USA for perioden 2008-2012. Per i dag står disse landene for ikke mer enn ca 30 % av de globale klimagassutslippene, og utslippsreduksjonene som vil bli gjennomført som følge av Kyoto-avtalen i disse landene er derfor små i en global sammenheng, se for eksempel Böhringer (2002).

Meningen var imidlertid at Kyoto-avtalen også skal utgjøre rammen for avtaler om utslippsbegrensninger etter 2012. Forhandlingene om en post-2012-avtale står imidlertid i stampe. På den ene side er u-landene ikke villige til å påta seg noen utslippsbegrensninger nå. Samtidig er kongressen i USA skeptisk til at USA skal påta seg noen utslippsbegrensninger uten at i hvert fall de største og viktigste u-landene gjør det samme.

I lys av litteraturen om klimaavtaler, er ikke dette en overraskende situasjon. Allerede tidlig på 1990-tallet kom det arbeider som pekte på at det er vanskelig å se hvordan man skal lage en avtale om store utslippsreduksjoner som mange land vil ønske å slutte seg til og også overholde, se for eksempel Hoel (1992) og Barrett (1994), eller noen nyere bidrag, Barrett (2003,2005).

Den nevnte teoretiske litteraturen fokuserer i første rekke på at det for enkeltland er små gevinster av å foreta utslippsreduksjoner, slik at kostnadene ikke står i forhold til gevinstene. Avsnitt 5 illustrerer dette problemet med tall. Disse talleksempelene vil også illustrere at klima-problemet er spesielt i den forstand at det i første rekke vil være fremtidige generasjoner som vil nyte godt av at vi i dag foretar utslippsreduksjoner.

#### 4 UTSLIPPSUTVIKLINGEN FREMOVER

Fremskrivninger av klimagassutslippene dersom ingen nye tiltak settes ut i livet kalles ofte 'business as usual' (BaU) fremskrivninger. Utslipp av klimagasser på et fremtidig tidspunkt er et produkt av tre faktorer: befolkning, BNP per capita, og utslipp per BNP-enhet. Ettersom det er stor usikkerhet knyttet til utviklingen av alle disse tre størrelsene, er det også stor usikkerhet knyttet til fremtidige klimagassutslipp. Usikkerheten blir naturlig nok større jo lenger frem i tid vi går. I dette avsnittet gjennomgår vi de forutsetningene vi har gjort med hensyn på disse variablene, før vi i påfølgende avsnitt med utgangspunkt i disse forutsetningene presenterer beregningene som illustrerer hvor svake incentiver enkeltland har til å foreta store utslippsreduksjoner.

##### *Befolkningsutviklingen*

Når det gjelder fremtidig befolkningsutvikling, legger vi til grunn middelalternativet i FNs siste befolkningsprognoser frem til 2050, se UN (2009). For årene etter 2050 bygger vi på antagelsene i UN (2004) om en stabilisering av fruktbarheten i de ulike regionene. Global befolkning når en topp på 9,4 milliarder i 2075, og faller deretter svakt resten av århundret. Den antatte befolkningsutviklingen frem til 2100 er beskrevet i figur 1. For det 22. århundre antar vi som UN (2009) en svak befolkningsnedgang til 8,4 milliarder i 2200.

I et så langt tidsperspektiv som dette, er befolkningsutviklingen meget usikker. Trolig er det spesielt stor usikkerhet knyttet til den helt avgjørende fruktbarhetsutviklingen i u-landene utenom Kina. I FNs middelalternativ er det lagt til grunn at fruktbarheten i disse områdene fortsetter å falle relativt raskt, fra dagens nivå på godt over tre barn per kvinne til under to. FN presenterer også et høyfruktbarhetsalternativ, der fruktbarhetsfallet går noe saktere. Det fører til at befolkningen i gruppen u-land utenom Kina nærmer seg 10 milliarder mot slutten av århundret. På den annen side presenterer FN også et scenario der fruktbarheten faller raskere enn i middelalternativet. Da når befolkningen i denne gruppen av u-land en topp på 7 milliarder i 2050 og faller deretter til under 4 milliarder i 2100. Vi legger altså likevel middelalternativet i FNs fremskrivninger til grunn for våre beregninger.

##### *Økonomisk vekst og utslipp*

Utslipp per capita er et produkt av BNP per capita og utslipp per BNP-enhet. I vårt BaU-scenario har vi for det

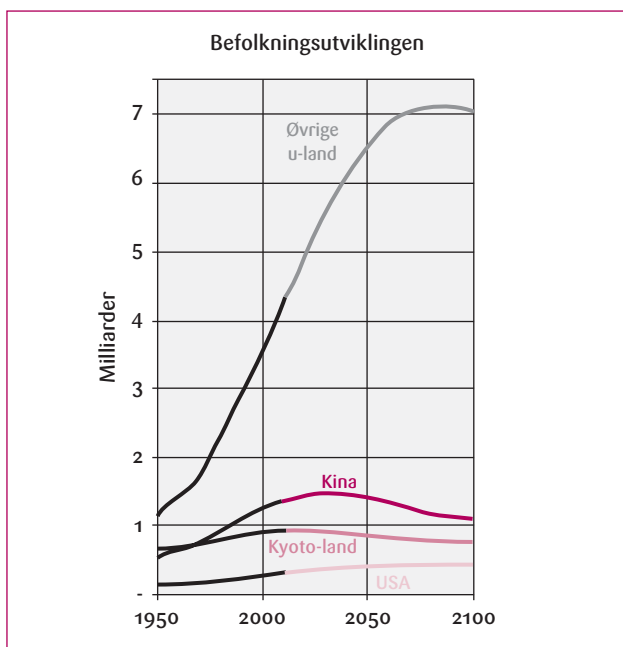
21. århundre lagt til grunn en utvikling i utslipp per capita som samsvarer med utslippsveksten per capita i IPCCs A1 Message scenario, se IPCC (2000). I våre beregninger inkluderer vi effekten av de tre viktigste klimagassene (CO<sub>2</sub>, metan, lystgass) samt den avkjølede gassen svoveldioksid, mens den mer begrensede effekten av de øvrige klimagassene ikke er tatt hensyn til.

I scenariet A1 Message legger IPCC til grunn en vekst i BNP per capita på 2,6 % i gjennomsnitt over det 21. århundre. Det er en relativt høy vekst sammenlignet med global per capita vekst i det 20. århundre. Riktignok vokste BNP per capita på global basis med 2,9 prosent i perioden 1950-1973, men i perioden 1913-1950 var det tilsvarende tallet 0,88, og i perioden 1973 – 2003 var det 1,56 prosent (Maddison, 2008, s. 71). Men på den annen side forutsetter A1 Message-scenariet også et fall i CO<sub>2</sub>-utslipp per BNP-enhet på 2,0 % per år, se figur 2, noe som også er betydelig over den historiske trenden. Dette henger både sammen med at IPCC antar en sterk grad av energieffektivisering, men også at fornybar energi og kjernekraft kommer tungt inn. Mens fossile brensler i dag står for om lag 80 % av verdens energiforsyning, legger IPCC i A1 Message til grunn at denne andelen faller til 25 % i 2100. Enkelte har hevdet at denne typen forutsetninger er for optimistiske for et BaU-scenario, se for eksempel Pielke et al. (2008). Uansett er det viktig å understreke usikkerheten her. Ikke minst kan man komme til å oppleve en raskere vekst i CO<sub>2</sub>-utslippene i u-landene enn det som her er lagt til grunn, men dette vil styrke snarere enn å svekke konklusjonene i denne artikkelen.

Samlet sett innebærer forutsetningene i A1 Message, som vi altså har lagt til grunn for vårt BaU-scenario, en vekst i CO<sub>2</sub>-utslipp per capita globalt på 0,55 % per år gjennom dette århundret. I industrilandene er imidlertid utslippene per capita relativt stabile i første halvdel av århundret og faller deretter gjennom andre halvdel av århundret, se figur 4 (USA) og 6 (Kyoto-landene). I u-landene vokser utslipp per capita 1,16 % i gjennomsnitt over det 21. århundre, men også i u-landene faller utslipp per capita mot slutten av århundret, se figur 8.

Multipliseres de antatte utslippene per capita med den antatte befolkningsutviklingen, får vi utviklingen i globale utslipp som vist i figur 3. Det mest markerte utviklingstrekket er at u-landene utenom Kina etter hvert blir dominerende i utslippssammenheng.

Figur 1 Befolkningsutviklingen som er lagt til grunn i de numeriske eksemplene. Frem til 2050 følges middelalternativet i FN's siste fremskrivninger. Resten av århundret antas en stabil fruktbarhet og dødelighet.



Kilde: FN og Statistisk sentralbyrå.

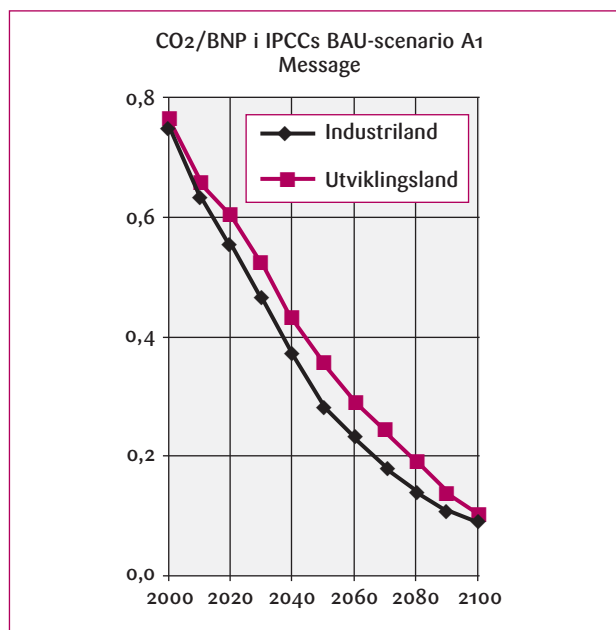
Når det gjelder det 22. århundret, har vi antatt at CO<sub>2</sub>-utslippene per capita i alle regioner fortsetter fallet som antas for siste del av det 21. slik at verdensøkonomien i det store og hele antas å bli avkarbonisert i løpet av det 22. århundret. Utslippene av metan, lystgass og svoveldioksid er imidlertid holdt uendret gjennom det 22. århundret.

#### Temperaturutvikling i BaU

Som vi allerede har påpekt, er det usikkerhet knyttet til sammenhengene mellom utslipp av klimagasser og klimændring/oppvarming. Beregningene som presenteres i denne artikkelen bygger på en modell av sammenhengen mellom utslipp av klimagasser og SO<sub>2</sub>, i hvilken grad utslippene akkumuleres og utviklingen i global temperatur, som er beskrevet i Höhne og Blok (2005), og parameterverdier som der er oppgitt. Med disse parameterverdier gir denne modellen en klimasensitivitet på 3 °C. Men modellen har imidlertid innbygget treghetsmekanismer, slik at den momentane temperaturøkningen er mindre. Modellen er benyttet i andre tilsvarende beregninger, se for eksempel Berntsen og Fuglestad (2008)

Med den antatte utslippsutviklingen og anvendelse av modellen i Höhne og Blok (2005) blir CO<sub>2</sub>-konsentrasjo-

Figur 2 CO<sub>2</sub>-utslipp i forhold til BNP i IPCCs scenario A1 Message, som er brukt som BaU-scenario i denne artikkelen.



Kilde: IPCC.

nen i BaU fordoblet i forhold til førindustrielt nivå i 2050, og når en konsentrasjon på 780 ppm i 2100, 850 ppm i 2150 og så et fall til 810 ppm i 220.

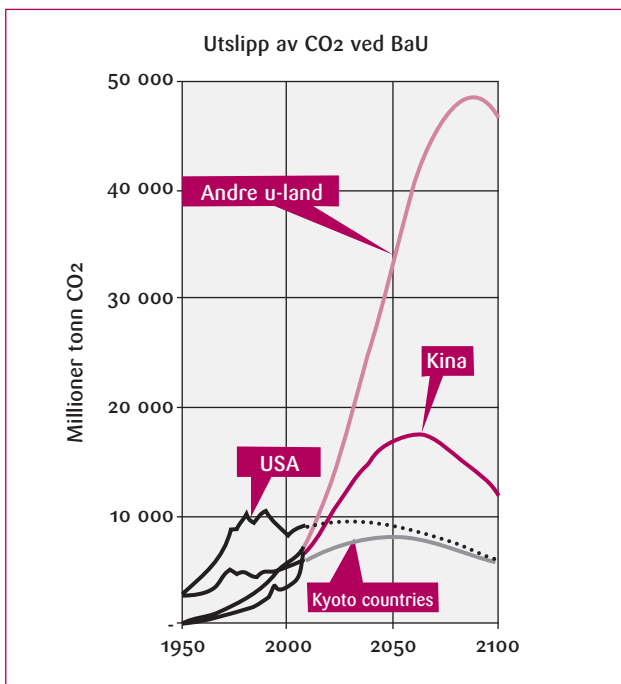
Konsentrasjonen av metan, som har vært relativt stabil de senere tiårene, øker fra dagens nivå på litt over 1700 parts per billion (ppb) til en konsentrasjon i BaU på 2300 ppb i 2100. Tilsvarende øker konsentrasjonen av lystgass fra dagens nivå på rundt 330 ppb til 430 ppb i 2100. Samtidig antas det at SO<sub>2</sub>-konsentrasjonen gradvis reduseres og halveres i løpet av århundret. Ettersom SO<sub>2</sub> har en avkjølede effekt, gir dette også en oppvarmende virkning. Samlet sett gir BaU-banen en global temperatur på 2 °C over førindustrielt nivå i 2050, 3,8 °C i 2100, og 4,8 °C i 2200.

#### 5 VIRKNINGEN AV UTSLIPPSREDUKSJONER

Vi ser her på flere tilfeller der bare ett land, eller en gruppe av land, foretar utslippsreduksjoner alene. Vi ser kun på endringer i utslippene av CO<sub>2</sub> fra forbrenning av fossile brensler, og holder utslippene av metan, lystgass og SO<sub>2</sub> uendret i forhold til BaU-banen. Vi holder også utslippene av CO<sub>2</sub> fra arealendringer (ødeleggelse av skog) uendret. Når vi i det følgende omtaler CO<sub>2</sub>-utslipp, dreier det seg om utslipp fra bruk av fossile brensler.



Figur 3 Utslipp av CO<sub>2</sub>. Historisk og i BaU-banen.



Kilde: US Department of Energy og Statistisk sentralbyrå.

Vi ser bort fra karbonlekkasjer til land som ikke foretar utslippsreduksjoner. Vi ignorerer altså at ensidige utslippsreduksjoner i ett land, eller en gruppe av land, normalt vil føre til høyere utslipp i andre land, både fordi utslippsintensiv industri til en viss grad vil ønske å flytte til land uten restriksjoner på utslipp, og fordi fallende etterspørsel etter fossile brensler ett sted, vil føre til lavere priser og dermed høyere forbruk av slike brensler i resten av verden.

#### USA

I det første regneeksempelet ser vi på effekten av at USA gjennomfører ensidige utslippsreduksjoner. USA har i dag CO<sub>2</sub>-utslipp per capita på 19 tonn, mot et globalt gjennomsnitt på 4,2 tonn.<sup>3</sup> USA står i dag for 19 % av de globale CO<sub>2</sub>-utslippene fra fossile brensler, et tall som i vårt BaU scenario faller til 12 % i 2050 og 9 % i 2100.

Figur 4 viser tilfellet der CO<sub>2</sub>-utslippene per capita i USA reduseres med i gjennomsnitt 3,6 % per år fra 2010 til 2100. Det gir en reduksjon i USAs samlede utslipp på 30 % i forhold til dagens utslippsnivå i i 2025, 80 % i 2050 og med 98 % innen

2100. Dette innebærer at utslippene i USA i 2050 og 2100 er henholdsvis 85 og 97 prosent lavere enn i BaU. Dette er svært raske utslippkutt og trolig i overkant av det som er praktisk og politisk mulig. Men 80 % utslippskutt innen 2050 er i samsvar med hva president Barack Obama har som mål.

Figur 5 viser virkningen disse ensidige tiltakene i USA vil ha på global temperatur. Temperaturen i 2025 vil bli 0,01°C lavere enn i BaU, 0,08 °C lavere i 2050 og 0,18 °C lavere i 2100. Det er her også lagt til grunn at USA har nær nullutslipp gjennom hele det 22. århundre. Samlet gir denne banen 0,22 °C lavere temperatur i 2200 i forhold til temperaturen i BaU.

#### Kyoto-landene

Det er også interessant å se på virkningen av utslippkutt i industrilandene utenom USA, det vil si de landene som har påtatt seg utslippsbegrensninger i Kyoto-avtalen (Kyoto-landene). Dette inkluderer Australia, Canada, EU-27<sup>4</sup>, Japan, Russland, Ukraina, og en del mindre stater<sup>5</sup>. Denne gruppen av land står i dag for 30 % av de globale CO<sub>2</sub>-utslippene. I BaU-scenariet faller denne andelen til 13 % i 2050 og til 7 % i 2100. CO<sub>2</sub>-utslippene i disse landene er i dag i gjennomsnitt på knapt 10 tonn per innbygger.

For å illustrere virkningen av at Kyoto-landene gjennomfører tiltak uten å få med resten av verden, har vi sett på tilfellet der utslippene i denne gruppen av land reduseres med 25 % innen 2025, med 80% innen 2050, og med 98 % innen 2100, se figur 6. Utslippene i denne gruppen av land reduseres ytterligere og er nær null gjennom det 22. århundre. Denne banen gir 0,02 °C lavere temperatur i 2025, 0,09 °C lavere i 2050 og 0,18 °C lavere i 2100, se figur 7. Temperaturen i 2200 blir 0,22 °C lavere i denne banen.

#### Større grupper av land reduserer

Videre har vi sett på effekten av at USA og Kyoto-landene samtidig gjennomfører de utslippsreduksjonene som er beskrevet over samtidig som også Kina gjennomfører omfattende utslippskutt.

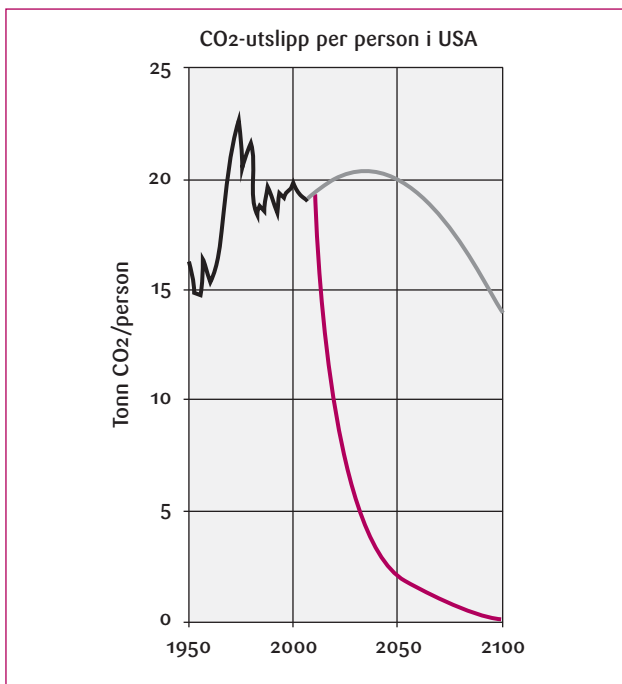
Kina har i dag utslipp av CO<sub>2</sub> på 4,6 tonn per capita, et tall som i de senere årene har vært i sterk vekst. Så sent som i 1990 var CO<sub>2</sub>-utslippene i Kina på bare 2,1 tonn per inn-

<sup>3</sup> Med «i dag» mener vi her og i resten av avsnittet 2006, som er siste år i CDIAC-databasen til US Department of Energy. Alle historiske utslippstall i denne artikkelen er hentet fra denne databasen.

<sup>4</sup> Unntatt Kypros og Malta.

<sup>5</sup> Island, Norge, Sveits, Kroatia, New Zealand, Liechtenstein.

Figur 4 USA reduserer utslippene med 80 og 98 % i forhold til dagens utslippsnivå innen henholdsvis 2050 og 2100. Svart kurve viser historiske utslipp, grå kurve BaU og rød kurve utslipp etter utslippreduksjoner.



Kilde: US Department of Energy og Statistisk sentralbyrå.

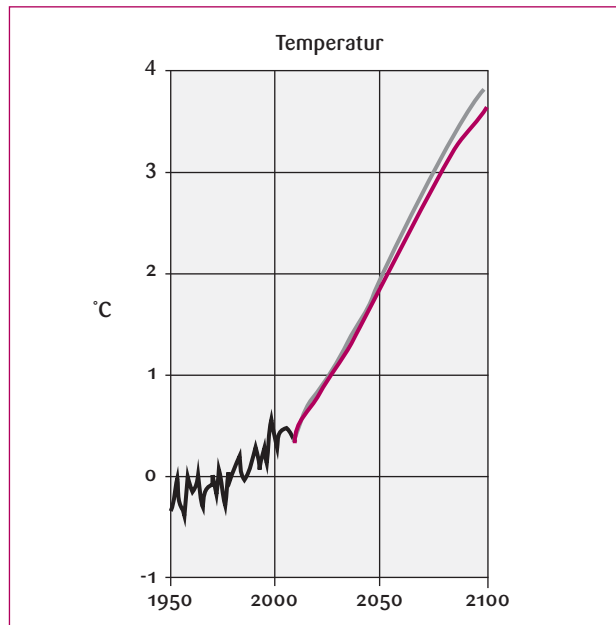
bygger. I BaU-banen er det lagt til grunn en videre vekst i utslipp per capita i Kina frem til 2070, hvorefter de stabiliseres og deretter begynner å falle etter hvert som det antas at fornybar energi og kjernekraft kommer sterkere inn.

Kina står i dag for om lag 23 % av de globale CO<sub>2</sub>-utslippene. I BaU-scenariet øker dette tallet svakt, til 25 % i 2050, men vil falle til 14 % i 2100, etter hvert som økonomiene til de øvrige u-landene er antatt å vokse.

I det presenterte virkningsscenariet har vi antatt at CO<sub>2</sub>-utslippene per capita i Kina begynner å falle fra 2010 og reduseres til 1,9 tonn i 2050 og til 0,3 tonn i 2100, se figur 8. Det gir en reduksjon i Kinas samlede utslipp på 80 % i forhold til dagens utslippsnivå innen 2050 og med 98 % innen 2100. Dette innebærer at utslippene i Kina i 2050 og 2100 er henholdsvis 78 og 97 prosent lavere enn i BaU.

Tilfellet der både USA, Kyoto-landene og Kina reduserer utslippene er illustrert med figur 8 og 9. Det vil gi en reduksjon i global temperatur på 0,04 °C i 2025, 0,31 °C i 2050, 0,76 °C i 2100, og 0,85 °C i 2200.

Figur 5 Virkning på global temperatur av at USA reduserer utslippene som vist i figur 4. Svart kurve viser historisk temperaturutvikling, grå kurve viser temperatur ved BaU og rød kurve etter USAs utslippreduksjoner.



Kilde: Hadley Centre og Statistisk sentralbyrå.

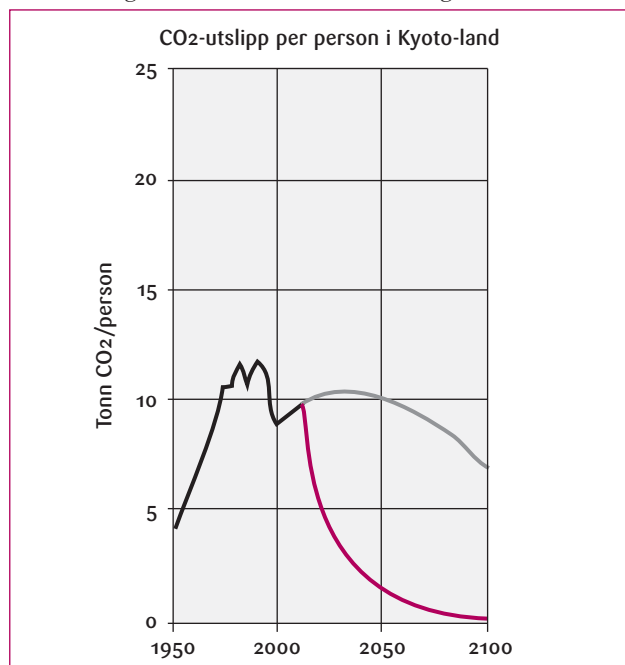
Vi ser altså at selv om industrilandene gjennomfører meget omfattende utslippskutt og samtidig får Kina til å gjøre det samme, er man langt unna å oppnå en stabilisering av global temperatur på 2 °C over før-industrielt nivå. Et scenario som gir en stabilisering på 2 °C er imidlertid vist i figur 10 og 11. Her gjennomfører USA, Kina og Kyoto-landene de samme utslippskuttene som er beskrevet over. Men samtidig stopper de øvrige u-landene sin utslippsvekst per capita og kutter utslippene av CO<sub>2</sub> til 1,2 tonn per capita i 2050 og til 0,3 tonn i 2100.

## 6 KONKLUSJON

Analyser av kostnadene av global oppvarming og påfølgende klimaendringer tilsier at det er en god investering å redusere utslippene av klimagasser. Men atmosfæren er en global allmenning som brukes av alle verdens nær 200 land. Hvert enkelt land har derfor svake incentiver til å redusere utslippene på egen hånd. I denne artikkelen har vi gjennom noen modellsimuleringer illustrert disse problemene. Vi har for det første vist at selv at selv verdens største økonomi, USA, oppnår svært lite gjennom ensidige utslippskutt. De fleste land i verden spiller en vesentlig

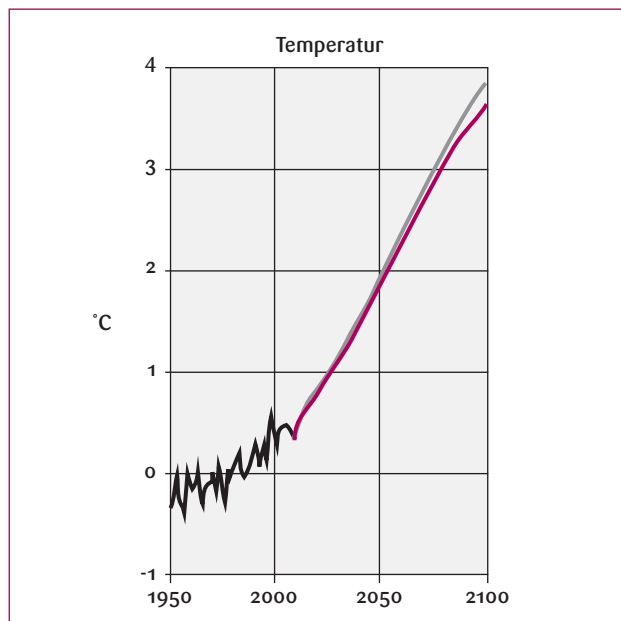


Figur 6 Kyoto-landene reduserer utslippene med 80 og 98 prosent (rød kurve) i forhold til dagens utslipp (grå kurve) i henholdsvis 2050 og 2100.



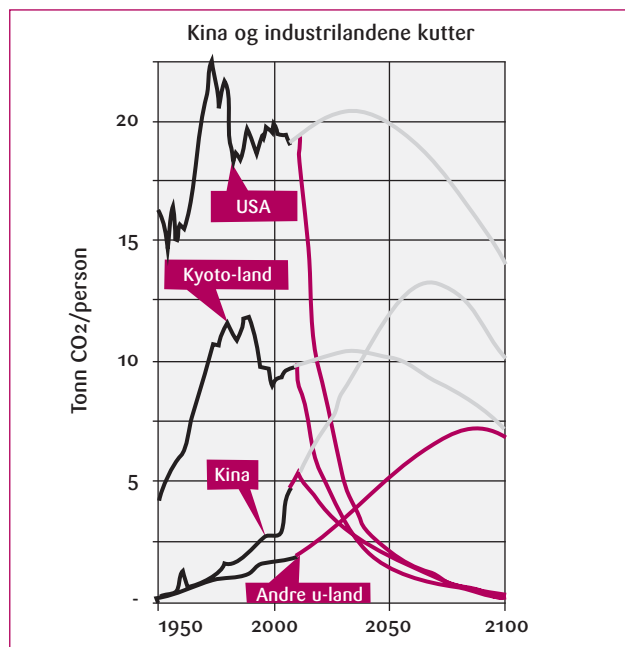
Kilde: US Department of Energy og Statistisk sentralbyrå.

Figur 7 Virkning på global temperatur av at Kyoto-landene reduserer utslippene som vist i figur 6.



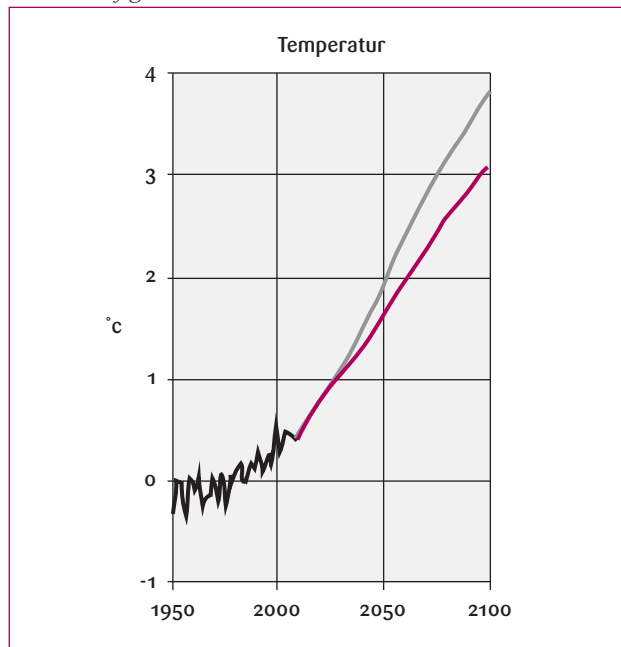
Kilde: Hadley Centre og Statistisk sentralbyrå.

Figur 8 Alle industrilandene og Kina reduserer utslippene med 80 og 98 prosent (røde kurver) i forhold til dagens nivå (grå kurver) i henholdsvis 2050 og 2100.



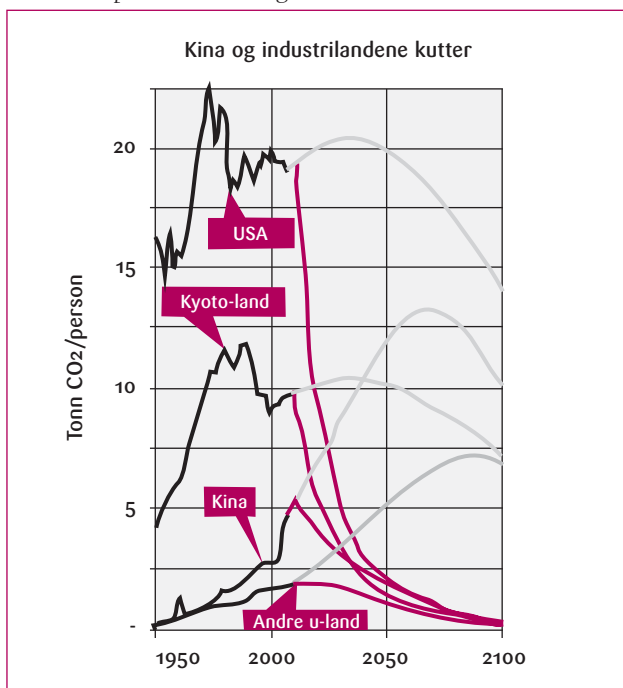
Kilde: US Department of Energy og Statistisk sentralbyrå.

Figur 9 Virkning på global temperatur av at alle industrilandene og Kina reduserer utslippene som vist i figur 8.



Kilde: Hadley Centre og Statistisk sentralbyrå.

Figur 10 Alle industriland og Kina kutter utslippene med 80 og 98 prosent (røde kurver) i forhold til dagens nivå (grå kurver) i henholdsvis 2050 og 2100. U-landene utenom Kina kutter utslippene med 70 og 95 prosent i 2050 og 2100.



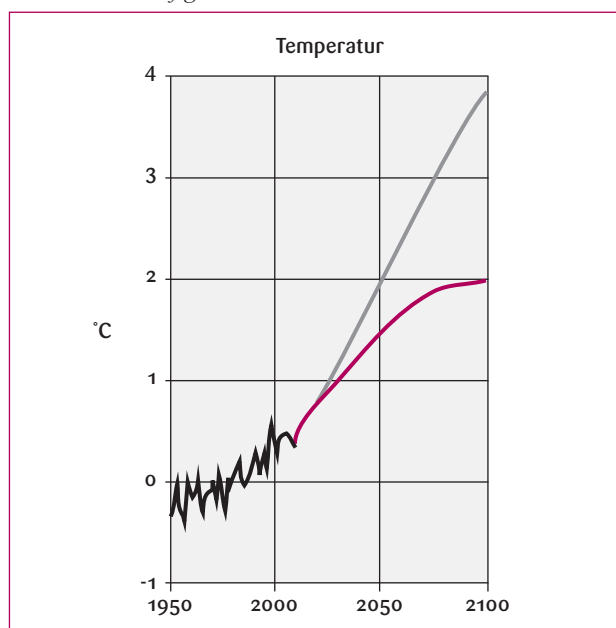
Kilde: US Department of Energy og Statistisk sentralbyrå.

mindre rolle enn USA, og vil derfor i praksis ikke kunne påvirke klimaet gjennom egne utslippskutt i noen vesentlig grad. Vi så at et land som USA med svært omfattende utslippsreduksjoner reduserte global temperatur i 2100 med 0,18 °C. Det vil si at et land som Norge, som har utslipp som ligger godt under 1 % av USAs utslipp, gjennom egne utslipp under ingen omstendighet kan redusere global temperatur i 2100 med mer enn 0,0018 °C.

Samtidig viser simuleringene at det tar lang tid før utslippsreduksjoner gir effekt. Verken Kina, USA eller Kyoto-landene er i praksis i stand til å påvirke global temperatur signifikant innen for eksempel 2025. Og effektene på temperatur av selv omfattende tiltak er meget begrenset så langt frem i tid som 2050.

Endelig viste vi betydningen av u-landene utenom Kina. Dette er land der gjennomsnittlige CO<sub>2</sub>-utslipp i dag ligger på under 2 tonn per innbygger, det vil altså si på rundt 10 % av nivået i USA. Likevel er man helt avhengig av at denne gruppen av land gjennomfører omfattende tiltak for

Figur 11 Global temperatur i forhold til førindustriell tid i to scenarier: BaU (grå kurve) og med utslippskutt som vist i figur 10 (rød kurve).



Kilde: Hadley Centre og Statistisk sentralbyrå.

å begrense utslippene dersom man skal begrense oppvarmingen til 2 °C, slik EU og Norge har satt som mål.

I u-landene er det imidlertid liten vilje til å redusere utslippene. Nylig formulerte Indias miljøvernminister Jairam Ramesh seg som følger:

«India will not accept any emission-reduction target – period. This is a non-negotiable stand.»

Andre toneangivende u-land deler dette standpunktet. Våre beregninger viser at man dermed ikke vil ha noen mulighet til å foreta utslippsreduksjoner som i vesentlig grad begrenser den globale oppvarmingen.

#### REFERANSER:

Barrett, S. (1994): Self-enforcing international environmental agreements, *Oxford Economic Papers* 46, 878–894.

Barrett, S. (2005): The theory of international environmental agreements. In *Handbook of Environmental Economics*, 3, 457-516.

- Barrett, S., (2003): *Environment & Statecraft - The Strategy of Environmental Treaty-Making*, Oxford University Press, New York.
- Berntsen, T., og J. Fuglestvedt (2008): Global temperature responses to current emissions from transport sectors. *Proceeding from National Academy of Sciences* 105, 19154-19159.
- Böhringer, C. (2002) Climate Politics from Kyoto to Bonn: From Little to Nothing?, *The Energy Journal* 23 2, 51-72.
- Hoel, M. (1992): International environmental conventions: the case of uniform reductions of emissions. *Environmental and Resource Economics* 2, 141-159.
- Hoel, M. and Sterner T. (2007), Discounting and Relative Prices, *Climatic Change* 84, 265-280.
- Hoel, M., M. Greaker, C. Grorud, I. Rasmussen (2009): Climate Policy: Costs and Design. A Survey of some recent numerical studies, Nordisk Ministerråd.
- Höhne, N., and K. Blok (2005): 'Calculating historical contributions to climate change - discussing the 'Brazilian Proposal'', *Climatic Change* 71, 141-173.
- IPCC (2000): Special Report on Emissions Scenarios, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2007a). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press. Online at the IPCC site.
- IPCC (2007b): Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the International Governmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. Online at the IPCC site.
- Maddison, A. (2008) *Contours of the World Economy 1 - 2030 AD. Essays in Macro-Economic History*. Oxford University Press.
- Nordhaus (2008) *A Question of Balance*. Yale University Press. New Haven & London.
- OECD (2008a): *Environmental Outlook to 2030*.
- OECD (2008b) Burniaux J-M., J. Chateau, R. Duval and S. Jamet. *The Economics of Climate Change Mitigation: Policies and Options for the Future*, OECD Working Paper No. 658.
- Pielke, R., T. Wigley, and C. Green (2008): Dangerous Assumptions. *Nature* 452, 531-532.
- Sterner, T. and Persson, M. (2008), An even Sterner Review: Introducing relative prices into the discounting debate. *Review of Environmental Economics and Policy* 2, 61-76.
- United Nations (2004): *World Population to 2300*. United Nations, New York.
- United Nations (2009): *United Nations Population Prospects. The 2008 Revision*, (<http://esa.un.org/unpp/>)
- Weitzman, M.L. (2009), On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change. *The Review of Economics and Statistics* 91, 1-19.