



**BJART HOLTSMARK**  
Forsker i Statistisk sentralbyrå

# Klimaendringer og økonomisk utvikling: Mot katastrofe eller velstand?\*

FNs klimapanel (IPCC) hevder med stor grad av troverdighet at den økende konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren fører til klimaendringer med alvorlige konsekvenser. Disse advarslene kan man ikke ignorere. Men vi må heller ikke overdramatisere problemet og overse at verden tross alt på mange områder går i riktig retning. Slik klimadebatten utvikler seg, gir den lite rom for diskusjon om reelle handlingsalternativer.

## INNLEDNING

Det siste året har vi fått en intens klimadebatt preget av miljøorganisasjoner, politikere og forskere som konkurrerer om medias oppmerksomhet. I de fleste medier synes behovet for å finne den rette journalistiske vinkling å dominere over ønsket om grundig og allsidig saksfremstilling. Det er derfor ikke overraskende at det er overdramatiseringen og ytterstandpunktene som vinner i denne konkurransen.

Med denne overdramatiseringen bidrar nå media til å svekke barns fremtidstro. Psykologer forteller om mindreårige barn som ikke tror de vil oppleve å bli voksne fordi de har forstått det dit hen at menneskene er i ferd med å ødelegge livsgrunnlaget på jorden.

Det er viktig å lytte når seriøse forskere advarer mot klimagassutslipp og klimaendringer. I denne artikkelen vil jeg likevel peke på noen saksforhold som taler for at det er perspektivløst å skremme vettet av barna våre. Til tross for

alle mulige tilbakeslag, lever vi i en tid preget av stor økonomisk fremgang over store deler av verden. Mye taler for at det 21. århundre, så langt fra å bli en katastrofe, vil gå inn i historien som det århundret da verden gikk fra fattigdom til velstand. Ingen seriøse prognoser, verken Stern (2006) eller IPCC, tilsier at klimaendringene vil medføre at denne fremgangen stopper opp. Slik saken fremstilles, gir vi med andre ord våre barn et fundamentalt feil bilde av vår tid.

I tillegg til å si litt om velstandsutviklingen, vil jeg i denne artikkelen peke på to andre forhold som jeg mener får for liten plass i klimadebatten.

For det første er det trolig urealistisk at man kan makte å redusere utslippene i et omfang som er forenlig med å begrense oppvarmingen til 2°C, slik EU og Norge har gått inn for. I en så alvorlig sak som klimaspørsmålet, er realisme bedre enn lettvent optimisme. Kanskje er det derfor bedre å innse dette og legge opp en mer realistisk plan.

\* Mange takk til Helge Brunborg, tidsskriftets redaktør Annegrete Bruvoll, Ådne Cappelen, Per A. Garnåsjordet, Mads Greaker, Cathrine Hagem og Sven G. Holtsmark som har kommentert og gitt gode forslag til forbedringer av manuskriptet.

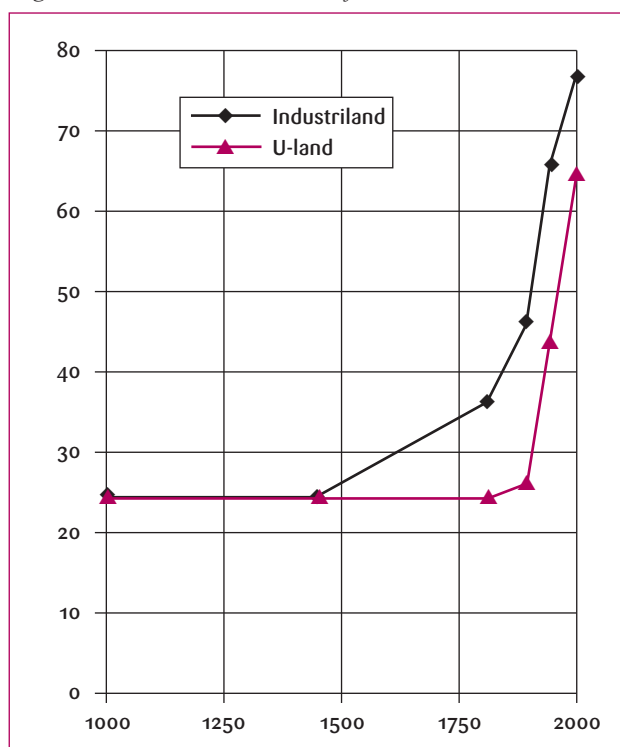
Det har blitt fremstilt som en enkel og billig operasjon å begrense utslippene i det omfang som IPCC anbefaler. I rike industriland kan en årlig kostnad på 1-3 prosent av BNP synes lite. Men i all hovedsak vil utslippsveksten komme i land og regioner som i vår målestokk er svært fattige og som har et skrikende behov for billig energi for å få dekket livsnødvendige behov. Skal man begrense utslippsveksten globalt i en skala som er forenlig med to graders målet, blir det trolig nødvendig å begrense energiforbruket også i slike regioner. Det er riktignok klimagassutslipp også fra andre aktiviteter enn energiproduksjon og bruk, og en god del utslippsreduksjoner kan gjøres her. Men først og fremst er klimaproblemet et energiproblem, og det er foreløpig begrensede muligheter for å gjøre energiforbruk karbonfri. Innenfor transportsektoren vil man for eksempel ennå i mange tiår i praksis være helt avhengig av fossil energi. Og det er helt klart at CO<sub>2</sub>-håndtering bare kan benyttes på en mindre andel av de stasjonære kildene. Følgelig vil det å nå 2° C målet i praksis måtte innebære en hardhendt begrensning av veksten i energiforbruket i u-landene. Dette vil ikke være en enkel operasjon uten store kostnader.

Gjennom noen enkle regneeksempler vi jeg vise hvor store utslippskutt som er nødvendig for at det skal gi betydelige utslag på CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i atmosfæren. Hvis industrilandene reduserer sine utslipp med mer enn 80 prosent i løpet av århundret, dempes for eksempel oppvarmingen kun med rundt 0,5° C.

Det er dessuten langt fra tilstrekkelig om man i tillegg begrenser og reverserer utslippsveksten i Kina. Inntil man får begrenset utslippsveksten i den store gruppen av øvrige u-land, vil den globale utslippsveksten fortsette. Det er følgelig mulig vi må være forberedt på at de globale utslippene av CO<sub>2</sub> og andre klimagasser vil vokse raskt ennå i flere tiår, selv om vi ikke ønsker det.

Dette bringer meg videre til et tabu i klimadebatten som vi trolig snart må forholde oss til, enten vi liker det eller ikke. Fordi det kan vise seg vanskelig å få gjennomført utslippsreduksjoner i det omfang som er ønskelig, er det kommet opp forslag om å kjøle ned klimaet gjennom tiltak for å begrense solinnstrålingen mot jorden. Slik «geoengineering» vil kunne fremstå som et virkemiddel i en overgangsfase inntil man har fått flere alternativer til fossile brensler til akseptable kostnader. Klarer man å stenge ute knapt to prosent av sollyset, har man trolig nøytralisert

Figur 1 Forventet levealder ved fødselen. 1000-2007.



Kilde: Maddison (2007) og U.S. Census Bureau Database

oppvarmingseffekten av en fordobling av CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i atmosfæren. Mot slutten av artikkelen vil jeg nevne noen av de aktuelle formene for geoengineering.

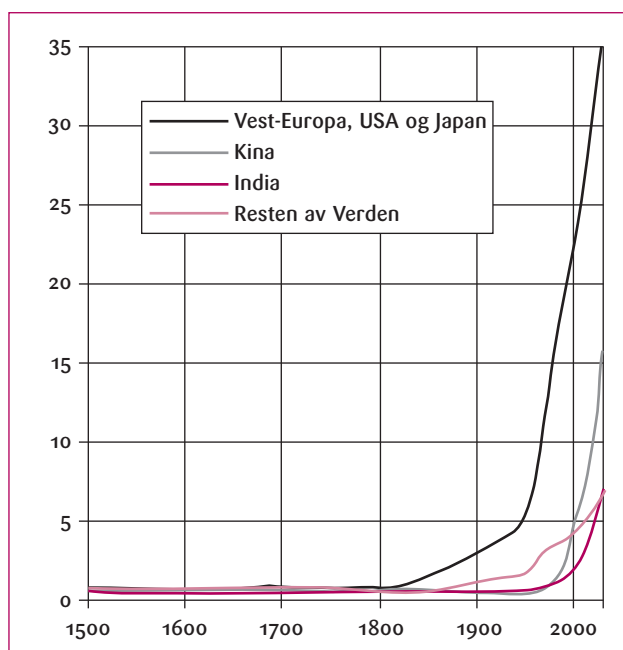
#### FRA FATTIGDOM TIL VELSTAND

For å forstå utviklingslandenes tilbakeholdenhet mot å foreta utslippsreduksjoner, må vi sette dagens og fremtidens økonomiske utvikling inn i et historisk perspektiv. Frem til den industrielle revolusjon varierte forventet levealder ved fødselen på global basis rundt et nivå på 25 år. Det er et tall som vitner om at menneskenes historie i store trekk er en historie om dyp fattigdom, sult, feilernæring, dårlig helse og tidlig død.

Med den industrielle revolusjon fulgte velstandsutvikling, etter hvert bedre helse og lengre levealder. Ved slutten av 1800-tallet var gjennomsnittlig levealder økt til rundt 30 år. Takket være en rekke medisinske fremskritt, omfattende vaksinasjonsprogrammer koblet sammen med en sterk økonomisk fremgang i løpet av det 20. århundret, er i dag forventet levealder på global basis økt til 66 år, se figur 1.

Og velstandsøkningen ser endelig ut til virkelig å komme utviklingslandene til gode. *Fra 1950 til i dag ble gjennomsnittsinntekten i u-landene omtrent firedoblet, og gjennomsnittlig levealder økte fra 44 til 65 år i disse regionene* (Maddison 2007, s. 337). I Kina ble gjennomsnittsinntekten i denne perioden mer enn tidoblet og i India mer enn tredoblet, se figur 2 som også viser Angus Maddison's anslag for utviklingen frem til 2030. Både i Kina og India forventes en sterk velstandsforbedring også i tiårene som kommer.

Figur 2 *Brutto nasjonalprodukt per capita. 1500 – 2030 e. Kr. US\$ 1990 PPP.*



Kilde: Maddison (2007)

### DOMMEDAGSPROFETIER FØR OG NÅ

Den sterke fremgangen vi har vært vitne til siden den industrielle revolusjon står i sterk kontrast til tidligere katastrofespådommer. Mest kjent er den engelske presten Thomas Malthus' profetier fra 1798. Malthus tok utgangspunkt i at det var to produksjonsfaktorer i gitte mengder – naturressurser og arbeidskraft. Fordi Malthus så bort fra enhver form for teknisk fremgang, var det en enkel sak for

Malthus å regne seg frem til en kommende katastrofe der en voksende befolkning ikke kunne mettes av de begrensede naturressursene.

På Malthus' tid var det knapt én milliard mennesker på jorden, forventet levealder var på rundt 25 år, den globale gjennomsnittsinntekten var på én tiendedel av dagens nivå, og jordbruk var hovedbeskjeftigelsen til de aller fleste mennesker på jorden. Malthus ville neppe trodd sine egne ører om det var noen som i 1798 fortalte ham at i 2007 ville det være 6,6 milliarder mennesker på jorden med en gjennomsnittlig levealder på 64 år, og gjennomsnittlig levealder er fortsatt raskt økende.

Det som for Malthus så helt opplagt ut, viste seg altså å være helt galt. Malthus' feil var at han så bort fra mulighetene for tekniske fremskritt, at det ville bli investert i produksjonskapital og at det var store økonomiske gevinster å hente gjennom internasjonal arbeidsdeling.

På 1970-tallet fikk man en ny bølge av dommedagsprofetier som var sterkt preget av tankegodt fra Thomas Malthus. Igjen ble det varslet at det ville bli umulig å produsere nok mat og energi til menneskene og at man sto foran en nært forestående katastrofe. Et godt eksempel er boken «Limits to growth» (Meadows et al. 1972).<sup>1</sup>

Nå, 30-40 år senere, tyder mye på at selv de mest overbeviste dommedagsprofeter fra 1970-tallet har innsett at snakket om ressursknapphet var et blindspor. I alle fall må man tolke det slik når disse menneskene i dag tar til orde for å bruke mat til å produsere drivstoff til bilene våre.<sup>2</sup>

Mange har i dag trolig en dyp skepsis til at klimaproblemet er reelt nettopp fordi dommedagsprofetiene fra 1970-tallet viste seg å være så gale. I stedet for en katastrofe har en rekke u-land fått i gang en utvikling som vil bringe dem fra fattigdom til velstand.

Dommedagsprofetene fra 1970-tallet gjorde egentlig akkurat samme feilen som Malthus ved å overse mulighetene for store tekniske fremskritt. I tillegg overså de

<sup>1</sup> For en kortfattet omtale av boken «Limits to growth», se Holtmark (2004).

<sup>2</sup> For eksempel foreslår Lavutlippsutvalget, ledet av Jørgen Randers, en av medforfatterne til «Limits to growth», storstilt innføring av biodrivstoff i Norge. Å produsere drivstoff på denne måten er svært arealkrevende og kan derfor forsterke de drivkreftene som forårsaker avskoging i tropene. IEA (2004) anslår for eksempel at dersom EU skal nå sitt mål om at biodrivstoff skal utgjøre 10 prosent av det totale forbruket av drivstoff i EUs transportmarked i 2020, vil det kreve at man benytter 38 prosent av det totale jordbruksarealet i EU15. Saken blir ikke bedre av at nye studier antyder at utslippene av drivhussgasser i forbindelse med produksjon av biodrivstoff er så store at det uansett ikke blir noen netto klimagevinst av å gå over til biodrivstoff (Crutzen 2007).

mulighetene for at de utnyttbare reservene av ikke-fornybare naturressurser ville vokse med tidens gang.

I dag må det være viktig å stille seg spørsmålet om vi gjør en tilsvarende feil når vi snakker om en kommende klimakatastrofe. I så fall er konsekvensene av feilvurderingen større enn på 1970-tallet – tiltakene som nå diskuteres vil ha kostnader som kan bli særlig merkbare for de fattige landene som har store udekkede energibehov.<sup>3</sup>

Et fellestrekk mellom dagens debatt og debatten på 1970-tallet, er den sterke tendensen til å overdramatisere. Det er et paradoks at fredsprisvinner Al Gore er en viktig eksponent for denne tendensen. I sin film «En ubehagelig sannhet» gir han for eksempel gjennom noen animasjoner inntrykk av at havnivået relativt raskt vil kunne stige med mange meter, slik at for eksempel Manhattan i sin nåværende form plutselig kommer under vann. Dette står i skarp kontrast til IPCC, som er klar på at en slik havnivåstigning kun vil skje hvis et varmere klima vedvarer over mange hundre år.<sup>4</sup>

Men vi må likevel passe oss for å trekke for sterke paralleller til dommedagsprofetiene på 1970-tallet. For det første er dagens advarsler om fremtidige klimaendringer fundert i omfattende forskning. Det var i liten grad dommedagsprofetiene på 1970-tallet. Dessuten tegner ikke IPCC et bilde av den totale undergang, slik man gjorde i for eksempel Limits to Growth. Som jeg kommer tilbake til i neste avsnitt, anslår tvert imot IPCC at den generelle velstandsforbedringen vil fortsette og etter hvert i særlig grad kommer u-landene til gode, til tross for klimaendringene.

Med fare for å være spekulativ, er det mulig å tenke seg at vi gjør to feil i dag, i tillegg til å overdramatisere. For det første er det mulig vi undervurderer mulighetene for å sette i verk tiltak som begrenser solinnstrålingen mot jorden – det vil si geoengineering. Kanskje er det her vi ikke ser de store teknologiske mulighetene, akkurat som Malthus ikke klarte å se de store teknologiske mulighetene som satte sitt preg på det 19. og 20. århundre? (Jeg kommer tilbake til geoengineering i nest siste avsnitt.)

Dessuten er det mulig at det ikke blir så kostbart og uoverkommelig å tilpasse seg til klimaendringene som et statisk syn på virkeligheten kan gi inntrykk av. Tol og Yohe (2006) gir et slikt perspektiv der de peker på at for eksempel havnivåstigning er noe som man i stor grad kan tilpasse seg til gjennom bygging av diker og lignende til overkommelige kostnader. Og her må vi heller ikke glemme at den store økonomiske fremgangen man forventer i det 21. århundre vil gjøre oss langt bedre rustet til å avsette ressurser til å møte klimaendringene, og å redusere utslippene.

Nå skal det her tilføyes at det er all grunn til å lytte til advarslene om *naturens* manglende evne til å tilpasse seg til relativt raske klimatiske endringer. Men mitt poeng er å minne om at det kan finnes ulike måter hvorved disse problemene kan begrenses, men som vi i dag ikke ser på som mulige.

#### DET 21. ÅRHUNDRE – EN HISTORIE OM VEKST OG VELSTAND?

FNs befolkningsfremskrivninger gir noen indikatorer for hva slags liv menneskene kan få i det 21. århundre. I middelalternativet i disse fremskrivningene legges til grunn at i de fattige landene vil bamedødeligheten falle med omtrent 70 prosent fra i dag til 2050. I fremskrivningene legges det videre til grunn at innen 2050 vil gjennomsnittlig levealder i de fattige landene ha økt til 75 år.

Hvis dette skjer, har levealderen i u-landene på 150 år økt med 50 år. Det forteller om en bedring i helse og levevilkår for store deler av verdens befolkning som det er all grunn til å glede seg over. Ikke noe seriøs forskning indikerer at klimaendringene vil endre dette bildet mer enn marginalt.

Ikke minst lovende er utviklingen i Kina. Dette landet vil riktignok neppe kunne opprettholde dagens uvanlig høye vekstrater over tid, blant annet fordi de i økende grad må avsette ressurser til å håndtere de store miljøproblemene

<sup>3</sup> Riktignok kan man tenke seg at industriland finansierer for eksempel CO<sub>2</sub>-håndtering fra store punktutslipp i u-land og slik sett holder dem skadesløse. Men det er begrenset hvor langt man kommer på den måten. Man kommer ikke utenom at sluttbrukerprisene på energi må bli vesentlig høyere enn produksjonskostnadene også i u-landene, dersom man skal begrense utslippene i stort omfang.

<sup>4</sup> Som kjent inneholder Al Gore's film flere andre feil og overdrivelser, noe som ga seg utslag i en dom i britisk høyesterett om at hvis filmen skal vises på skoler, bør den suppleres med informasjon om tendensen til ensidighet (se The High Court of Justice Case No CO/3615/2007). Det pussige er at i sin respons på denne dommen og kritikken i kjølvannet av den, presterer Al Gore (gjennom sin talsperson) å servere nye åpenbare feil, som for eksempel at IPCC anslår at havet vil stige 59 cm innen 2100. Det korrekte er at IPCC presenterer resultatene av en rekke modellsimuleringer, der havnivåstigningen varierer fra 18 til 59 cm. Forventet havnivåstigning ligger et sted midt i dette intervallet.

de har fått. Men likevel, dersom Kinas vekst blir på 4,5 prosent per år fremover, vil de i 2030 ha nådd opp til det europeiske velstandsnivået fra 1990 (Maddison 2007). Gradvis vil trolig de andre u-landene komme etter.

Også scenariene i IPCC (2000), som årets IPCC-rapporter bygger på, legger til grunn at det 21. århundre blir preget av at u-landene vokser seg ut av fattigdommen. Tabell 1 gir en oversikt over inntektsutviklingen i de fire hovedscenariene i IPCC (2000).<sup>5</sup>

Usikkerheten knyttet til analyser av økonomisk utvikling så langt inn i fremtiden reflekteres i at det er et stort sprik i inntektsutviklingen mellom de ulike scenariene. A2 er et worst case med hensyn på inntektsutviklingen. *Men selv dette scenariet gir gjennomsnittsborgeren i utviklingslandene i 2100 en inntekt som er 12 ganger høyere enn det den var i 1990.* I de tre andre scenariene er inntektsutviklingen i u-landene enda høyere.<sup>6</sup> Også IPCC legger altså til grunn at det 21. århundre blir preget av en høy velstandsutvikling, ikke minst i u-landene.

Tabell 1 *Inntekt per capita i 1990 og 2100 i fire IPCC-scenarier. 1000 US\$ 1990.*

		OECD	U-land	
			ER*	PPP**
1990		19,1	0,9	2,3
2100	A1B	109,2	66,5	169,6
	A2	58,5	11,0	28,1
	B1	79,7	40,2	102,5
	B2	61,0	18,0	45,9

\* BNP-tall omregnet fra nasjonal valuta basert på vekselskursur.

\*\* BNP-tall omregnet fra nasjonal valuta basert på kjøpekraftspariteter.

Kilde: IPCC 2000 og egne PPP-korleksjoner, se Holtmark og Alfsen (2004).

Når det gjelder klimaendringene, vil de trolig først og fremst ramme hardt i noen begrensede områder. For eksempel vil en del allerede tørre områder blant annet i Afrika trolig bli enda tørrere. Og flere områder påføres betydelige kostnader og tap på grunn av havnivåstigning. Men slike konsekvenser av klimaendringene vil ikke endre hovedbildet, som er at verden ligger an til å gå mot utbredt

velstand. Tol (2006) konkluderer at kostnadene fra klimaendringene – i form av mottiltak eller tiltak for å håndtere virkningene av klimaendringene – trolig vil ligge i størrelsesorden 3-4 prosent av BNP. Stern (2006) hevder riktignok at kostnadene kan bli vesentlig større utover i det 22. århundre, dersom man ikke klarer å redusere utslippene i et slikt langsiktig perspektiv. Men heller ikke Stern (2006), som har blitt utsatt for sterk kritikk for å overdrive kostnadene ved klimaendringer, hevder at klimaendringene vil rokke ved et hovedbilde preget av velstandsforbedring for alle folkegrupper.<sup>7</sup>

#### REALISME OG UTSLIPPSCENARIER

Med den forventede velstandsutviklingen følger utslippsvekst. Hvor raskt utslippene vil øke i et så langt tidsperspektiv som 100 år, kan man ikke si med særlig stor grad av sikkerhet. Utslippene fremover vil avhenge både av økonomisk vekst, befolkningsvekst og en rekke andre forhold, ikke minst den teknologiske utviklingen.

Frem til 2050 er den globale befolkningsutviklingen relativt forutsigbar, ettersom en stor andel av de som vil leve i 2050 vil fødes av kvinner som allerede i dag er født. Følgelig vet man en del om potensialet for fødsler i dette tidsperspektivet. Men går man lengre frem i tid, øker usikkerheten knyttet til den globale befolkningsutviklingen betydelig. For 2100 varierer FN's anslag på verdens befolkning fra 5,5 til 14 milliarder. Man vet kort sagt lite om hvor mange mennesker det vil være på jorden om 100 år

Som det fremgår av figur 3, er det i dag stor forskjell på utslippsnivået per hode i rike og fattige land. Dette reflekterer den lave energibruken i de fattige landene. Akkurat som økt bruk av energi var viktig for velstandsutviklingen i vår del av verden, vil den være det i utviklingslandene. Det er derfor all grunn til å regne med at energibruken i disse landene vil øke raskt.

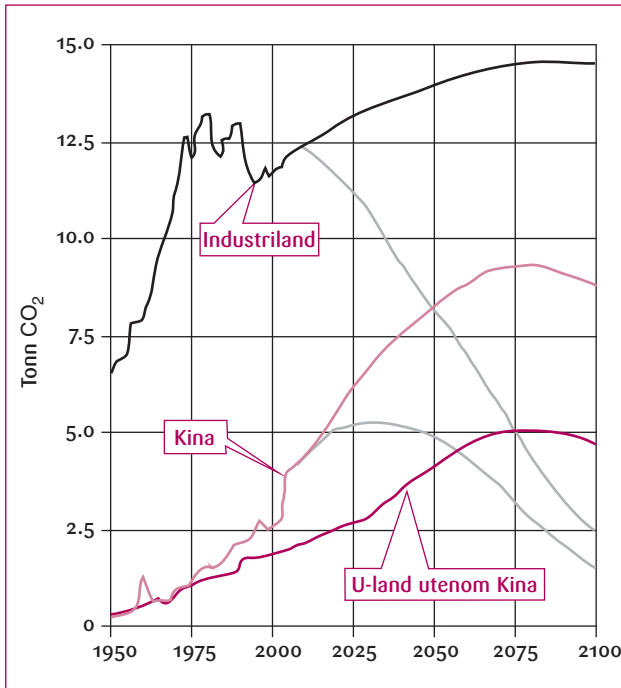
De tradisjonelle industrilandenes rolle i verden blir stadig mindre viktig, ettersom befolkningsveksten fremover først og fremst forventes å skje i u-landene. Figur 4 illustrerer

<sup>5</sup> IPCC (2000) har ikke korrigert for kjøpekraftspariteter (PPP). PPP-korleksjonene som er lagt inn i tabell 2, er basert på beregningene i Holtmark og Alfsen (2004, 2005).

<sup>6</sup> Det er som nevnt uklart hvordan IPCC har forholdt seg til kjøpekraftspariteter, noe de rettmessig har blitt kritisert for, se for eksempel Castles and Henderson (2003a,b) og The Economist (2003). En sentral drivkraft i IPCC-scenariene har vært en delvis lukking av inntektsgapet mellom i-land og u-land. Som det fremgår av tabell 2, er det imidlertid åpenbart at man har tatt utgangspunkt i det overdimensjonerte inntektsgapet man får når man baserer seg på omregning via valutaens vekselskursur. Når man så PPP-korrigerer, ender man opp i inntektsnivåer i u-landene som ligger betydelig over inntektsnivået i OECD-området, noe som neppe har vært intensjonen til IPCC.

<sup>7</sup> Se Nordhaus (2007) for en meget interessant kritikk av Stern med langsiktige perspektiver på dagens klimapolitikk.

Figur 3 Per capita CO<sub>2</sub>-utslipp fra fossile brensler, historisk, i referansebanen samt i to alternative baner der industrilandene og Kina reduserer utslippene. Tonn CO<sub>2</sub>/capita.



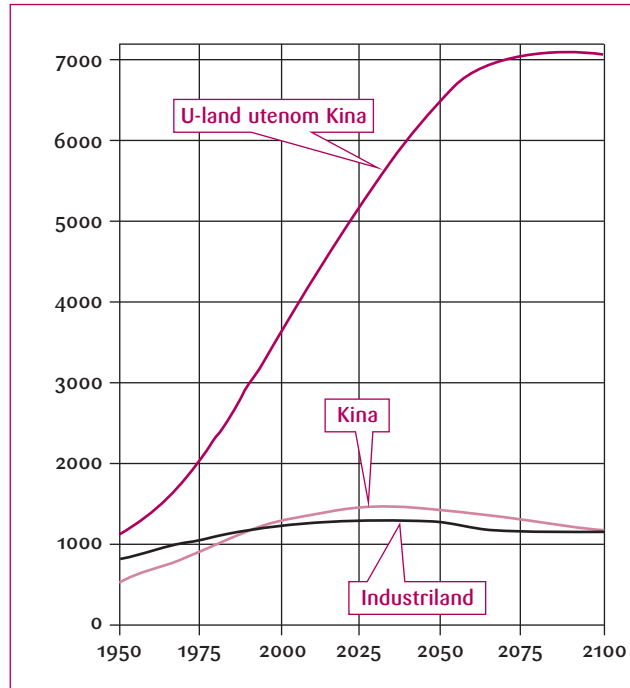
Kilde: Marland et al. (2007) og egne fremskrivninger.

også at Kina får en fallende andel av verdens befolkning. Kina er viktig, ikke minst fordi det leder an i u-landenes raske økonomiske utvikling. Men den fremtidige befolkningsveksten vil i første rekke skje andre steder. Og om noen tiår kan det være andre u-land som går i Kinas økonomiske fotspor, og dermed forårsaker stor utslippsvekst.

I utslippsfremskrivningene her er det lagt til grunn at de teknologiske endringene mot slutten av århundret når en terskel som medfører at bruken av fossile brensler stagnerer og deretter reduseres. Totalutslippene og konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> som følger av disse forutsetningene, er vist i figur 5 og 6. Med de gitte forutsetninger og business-as-usual passerer 700 ppm CO<sub>2</sub> mot slutten av århundret. Det kan innebære en temperaturøkning på drøyt 4 °C, men usikkerhetsintervallet er stort.<sup>8</sup>

For å gi noen illustrasjoner av virkningen av at industrilandene og Kina foretar betydelige utslippskutt, har jeg

Figur 4 Verdens befolkningsutvikling 1950 – 2100. Middelalternativet i FNs fremskrivninger.



Kilde: United Nations (2004, 2006)

konstruert et business-as-usual-scenario (referansebane) og to virkningsbaner, se figur 3. Utgangspunktet er middelalternativet i FNs befolkningsfremskrivninger fra 2006/2004 og et scenario for utviklingen i per capita utslipp som samsvarer med B2-scenariet til IPCC.

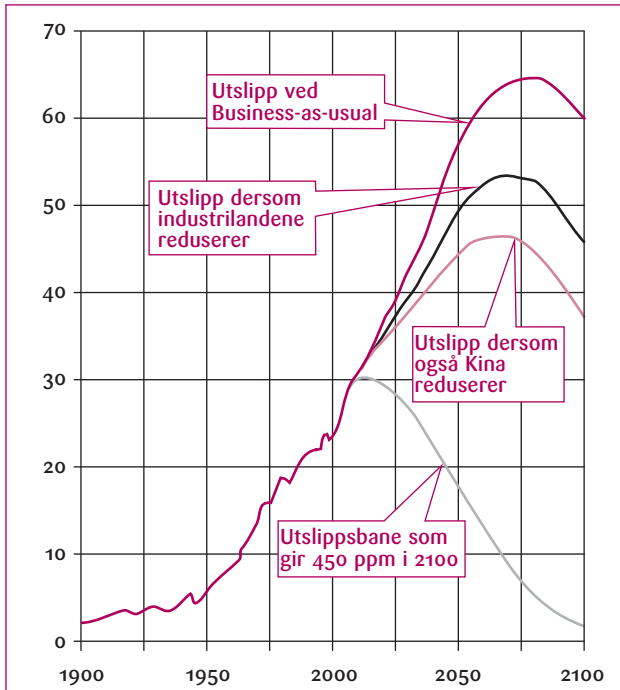
I den ene virkningsbanen reduseres per capita utslippene i industrilandene fra dagens nivå på 12,5 til 2,5 tonn CO<sub>2</sub> per hode i løpet av århundret, se figur 3. I den andre virkningsbanen reduseres i tillegg per capita utslippene i Kina fra et toppnivå i 2030 på 5,3 tonn, til 1,5 tonn per hode i 2100, se figur 3.

Virkningen på globale utslipp og konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i atmosfæren er skissert i henholdsvis figur 5 og 6. Dette viser at selv meget omfattende tiltak i alle industriland vil gi en forholdsvis begrenset effekt på konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i atmosfæren.

Det fremgår også at selv om Kina sørger for å stoppe sin utslippsvekst og etter hvert også i sterk grad reduserer

<sup>8</sup> Her er det lagt til grunn en modell for sammenhengen mellom utslipp og utvikling i konsentrasjon av CO<sub>2</sub> som i Aaheim et al. (2006). Når det gjelder de store utslippene fra avskoging i tropene (omtrent 20 prosent av CO<sub>2</sub>-utslippene), har jeg antatt at disse opphører i løpet av de nærmeste to tiårene. Det kan vises å være en for optimistisk forutsetning.

Figur 5 Utslipp av CO<sub>2</sub> i referansebanen og i tre alternative baner. Gt CO<sub>2</sub>.



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

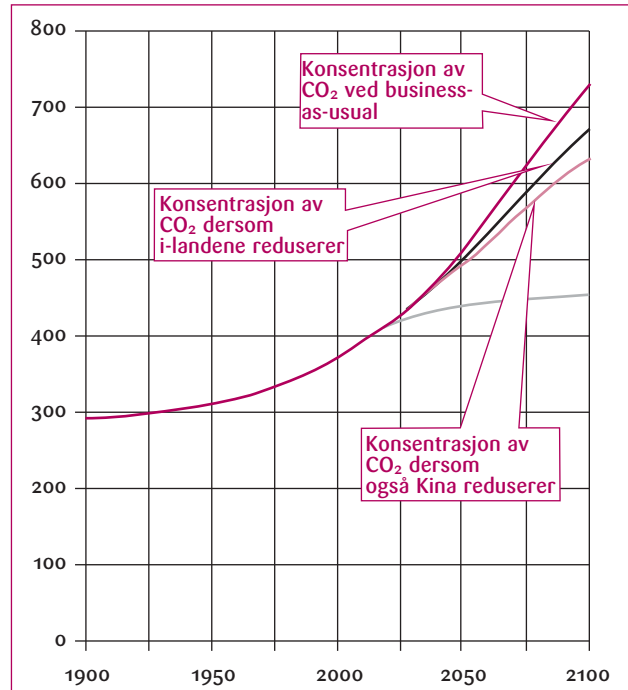
utslippene, gir det relativt moderat utslag på de globale utslippene og enda mindre utslag på konsentrasjonen av CO<sub>2</sub>.

Den nederste kurven i figur 5 viser i tillegg en global utslippsutvikling som gir en konsentrasjon i 2100 på omtrent 450 ppm, se også figur 6. Konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> må trolig være enda lavere, dersom man skal ha et rimelig håp om å begrense oppvarmingen til 2 °C, slik EU og Norge har som målsetting.

Ser vi figur 3 og 6 i sammenheng, blir det tydelig hvor utfordrende det er å få til omfattende utslippsreduksjoner. Selv om industrilandene umiddelbart setter i verk tiltak og i løpet av århundret reduserer utslippene med over 80 prosent, reduseres konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i 2100 med bare om lag 60 ppm, noe som neppe demper temperaturøkningen med mer enn 0,5 °C.

Selv for en kjempe som Kina vil ensidige utslippsreduksjoner i liten grad kunne begrense klimaendringene. Kina

Figur 6 Atmosfærens konsentrasjon av CO<sub>2</sub> i referansebanen og i tre alternative baner. ppm



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

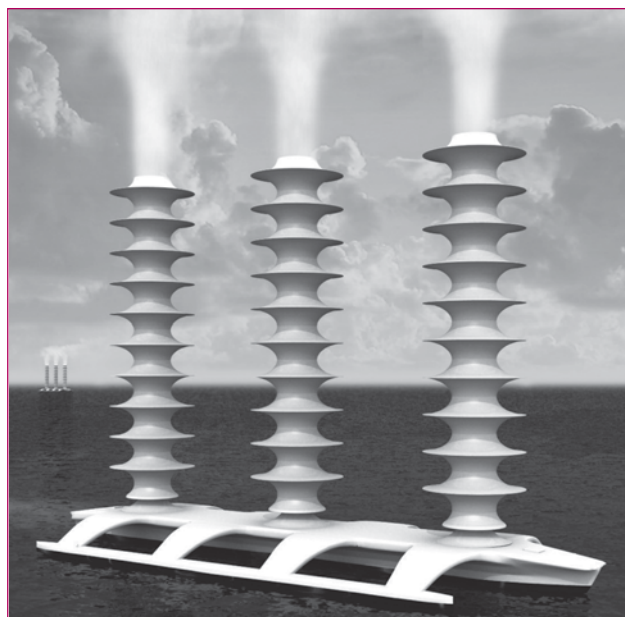
vil om få år overta rollen som verdens største økonomi og er den største kilden til CO<sub>2</sub>-utslipp. For alle andre land, som med noen få unntak er svært små i forhold til Kina, blir gevinsten av å foreta unilaterale utslippsreduksjoner enda mindre. Omfattende tiltak på egen hånd vil koste langt mer enn det smaker for alle land i verden.

Dette illustrerer det generelle poeng at klimaproblemet kun kan løses gjennom internasjonale avtaler som vrir incentivstrukturen i en retning som gjør det lønnsomt for det enkelte land å innfri forpliktelsene i avtalen. Men den teoretiske litteraturen omkring mulighetene for å få i stand effektive klimaavtaler bekrefter de praktiske erfaringene med at dette er vanskelig å få til.<sup>9</sup> Problemet er at det for enkeltland er betydelige gevinster å hente av å være helt eller delvis gratispassasjer til en internasjonal avtale.

Skal man ha noen mulighet til å få i stand en effektiv internasjonal klimaavtale med forpliktelser om store utslippsreduksjoner, må man trolig finne effektive mekanismer for å straffe land som ikke blir med på avtalen eller ikke inn-

<sup>9</sup> Sentrale arbeider på feltet er Barrett (1994, 2003, 2005) og Hoel (1990, 1992). I juninummeret av Økonomisk forum, Holtmark (2007), er vanskelighetene med å få i stand en internasjonal avtale skissert ved hjelp av noen enkle spillmodeller.

Figur 7 Slik ser man for seg Salter og Latham's vinddrevne båter for produksjon av lavtliggende skyer.



frir sine forpliktelser. Dette står i sterk kontrast til Kyotoavtalen, som i praksis ikke har noen effektiv straffemekanisme.

Hvordan man skal utforme internasjonale klimaavtaler for å gjøre dem slagkraftige, burde vært et stort forskningsfelt i et land som ønsker å spille en konstruktiv rolle i arbeidet med internasjonale klimaavtaler. Men de senere årene har det vært vanskelig å få midler til samfunnsfaglig forskning på dette feltet i Norge.

Når det gjelder u-landenes rolle i fremtidige utslippsreduksjoner, gir figur 3 – 6 sett i sammenheng en pekepinn om hvor viktige de er. Dersom man skal stoppe utslippsveksten og i vesentlig grad få redusert veksten i konsentrasjonen av CO<sub>2</sub>, vil det være nødvendig å begrense utslippsveksten i de landene der per capita utslippene nå er svært små. Det er i denne gruppen av land at befolkningsveksten først og fremst vil komme i dette århundret. Og det bor allerede idag mer enn fire milliarder mennesker i disse landene, et tall som i henhold til middelalternativet i FNs befolkningsfremskrivninger vil øke til 6,5 milliarder innen 2050. Bare mindre vekst i energibruken i disse landene vil gi store utslag i den globale utslippsveksten. Figur 3 – 6 sett i sammenheng viser at kun dersom man i sterk grad begrenser utslippene i denne gruppen av land, vil man ha mulighet for å komme i nærheten av EUs og Norges målsetting om å begrense oppvarmingen til

2 °C, som trolig vil kreve at CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen aldri kommer opp til 450 ppm. I lys av de store udekkede energibehov i denne gruppen av u-land, er det virkelig en stor utfordring å få til.

#### GEOENGINEERING – ET TABU I KLIMADEBATTEN

Som nevnt innledningsvis, er klimadebatten ikke bare preget av en overdramatisering. Klimadebatten, kanskje ikke minst i Norge, er også preget av flere tabuer. *Kjernerkraft* er et slikt tema.

Et annet tabu er såkalt «geoengineering», det vil si ulike tiltak for å nøytralisere den oppvarmende virkningen av klimagassene. Her kan man stå overfor muligheter for å kjøle ned klimaet på jorden uten å redusere CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen. Det er altså ikke nødvendigvis riktig som det hevdes, at det er for sent å begrense oppvarmingen til 2 °C. Muligens kan dette konseptet romme rimelige og effektive tiltak. I den siste rapporten fra arbeidsgruppe III i IPCC (IPCC 2007b, s 625) nevnes så vidt geoengineering, mens Stern-rapporten velger å forbigå temaet i taushet.

Forskningen på geoengineering har kommet kort i den forstand at det er for tidlig å hevde at man her har relativt uproblematisk løsning. Ikke minst vet man ikke i hvilken grad uheldige bivirkninger vil oppstå. Men faktum er likevel at klarer man på en eller annen måte å blokkere omtrent 1,8 prosent av solstrålene fra å nå jordoverflaten, har man omtrent nøytralisert oppvarmingseffekten av en fordobling av CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i atmosfæren. Det forskes nå på en rekke ulike metoder for å få til dette.

Det kanskje mest lovende konseptet foreslo professor John Latham ved Universitetet i Manchester allerede i 1990, se Latham (1990). Latham tar til orde for å øke skydekktet over havområdene ved å sende finpulverisert havvann opp i luften fra et stort antall førerløse vinddrevne båter for på den måten å forsterke det lavtliggende skydekktet. Sentralt for konseptet er at små vanndråper gir en større reflekterende overflate enn færre større dråper. Dessuten vil skyer av små vanndråper være mer varige enn skyer av store dråper.

I samarbeid med Stephen H. Salter ved University of Edinburgh forsøker Latham å videreutvikle ideen. Noen foreløpige modellsimuleringer presentert i Bower m. fl. (2006) virker lovende.



Latham's forslag vil kreve at man har et stort antall slike båter. De bør fortrinnsvis gå i strøk nær ekvator der solen varmer mest. Tanken er at båtene skal kunne styres fra et satellittbasert overvåkingssystem og dirigeres dit de til enhver tid vil gjøre mest mulig nytte for seg.

I prinsippet er det kun snakk om å forsterke en naturlig prosess. Vind og bølger på havet fører til at vanddråper kastes opp i luften og danner lavtliggende skyer. Men det er uklart om en unaturlig forsterkning av denne prosessen kan ha uheldige konsekvenser man i dag ikke overskuer, for eksempel uheldige endringer i nedbørmønstre. En fordel med dette systemet er at det kan skrues av med en gang man oppdager noen negative konsekvenser man ikke vil tillate. Se for øvrig omtale i Latham (2002) og i Mileham (2007).

En annen form for geoengineering er å sende ulike former for partikler eller gasser opp i atmosfæren, igjen for å blokkere solinnstråling. I dag er det en betydelig *nedkjølende effekt av SO<sub>2</sub>-utslipp* fra fossile brensler, særlig kull. Omtrent halvparten av disse utslippene blir omdannet til sulfatpartikler (aerosoler) som bidrar til å reflektere solstråler tilbake til verdensrommet og gir dermed en betydelig nedkjølende effekt. At svovelutslipp danner nedkjølende aerosoler, fikk man for øvrig tydelig demonstrert i forbindelse med utbruddet fra vulkanen Pinatubo i 1991, da gjennomsnittstemperaturen på jorden falt med 0,5 °C året etter.

Utslipp av SO<sub>2</sub> er imidlertid et stort miljøproblem (både helseskader og forsuring). I de senere tiårene er det derfor satt inn omfattende tiltak for å rense slike utslipp. Dette kan trolig forklare 30 – 50 prosent av temperaturøkningen på rundt 1 °C over det europeiske fastlandet siden 1980-tallet (Philipona 2007).

I lys av miljøproblemene knyttet til SO<sub>2</sub> kan det virke som en dårlig idé å begynne å *produsere* SO<sub>2</sub> for å kjøle ned jorden. Tanken er imidlertid å få partiklene plassert i stratosfæren. Der vil aerosolene bli liggende lenge, kanskje over flere år, i motsetning til SO<sub>2</sub>-utslipp ved bakken, som faller ned som sur nedbør i løpet av dager eller uker.

Et problem med denne formen for geoengineering kan være at det skader et allerede svekket ozonlag. Dette vet man foreløpig ikke nok om og det er generelt behov for mer kunnskap (Crutzen 2006). Men modellsimuleringer i Govindasamy og Caldeira (2000) virker lovende.

Barrett (2007a) peker på at kostnadene ved ovennevnte tiltak trolig er små sammenlignet med kostnadene forbundet med å foreta utslippsreduksjoner. Trolig er kostnadene til dels så lave at det vil kunne lønne seg for enkeltland, eller mindre grupper av land, å foreta slike former for geoengineering helt på egenhånd. Barrett (2007a,b) peker derfor på behovet for å få et internasjonalt regelverk for geoengineering inn i en fremtidig klimaavtale. Mens noen land vil ha fordel av en nedkjøling, er det for andre land betydelige fordeler med en oppvarming av kloden. Når man da står overfor såpass lave kostnader at enkeltland eller mindre grupper av land kan finne det regningsvarende å gjennomføre geoengineering på egenhånd, peker Barrett (2007a) på at man i ytterste konsekvens kan få væpnede konflikter knyttet til enkeltlands ønske om å gjennomføre geoengineering-tiltak. Her kan det derfor være all grunn til å være føre var og sørge for at dette reguleres i internasjonale avtaler.

Et dyrere og mer science-fiction-preget, men likevel seriøst, forslag er å plassere et stort antall *plater i Lagrangepunktet mellom jorden og solen*. I dette punktet er gravitasjonskreftene fra jorden og solen like store slik at platene vil kunne holdes på plass og følge jorden i dens bane rundt solen og dermed kontinuerlig sørge for å blokkere solinnstråling mot jorden. Platene er tenkt gjennomsliktige slik at de ikke varmes opp av solen, da det kan gi dem energi som kan gjøre det vanskeligere å få dem til å holde seg i riktig bane. Selv om de er gjennomsliktige, vil platene bryte retningen på solstrålene tilstrekkelig til å hindre at de treffer jorden.

Dette er et stort prosjekt som forutsetter en betydelig teknologisk utvikling knyttet til metoder for frakt av platene ut i verdensrommet. Anger (2006) anslår at man over en periode på 25 år kunne få plassert nok plater i Lagrangepunktet til å blokkere 1,8 prosent av solstrålene og dermed nøytralisere oppvarmingseffekten av en fordobling av CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen. Med noe som kan virke som ganske optimistiske kostnadsanslag, anslår Anger (2006) at dette vil koste omkring 0,5 prosent av verdens BNP over denne 25 års perioden.

De tre formene for geoengineering som her er nevnt vil i teorien kunne nøytralisere *oppvarmingseffekten* av klimagassene. Men de vil ikke forhindre alle klimaendringer og ikke minst vil de ikke kunne forhindre at økt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i atmosfæren fører til at havet blir surere. Surere

hav kan ødelegge korallrev og økosystemene knyttet til disse (IPCC, 2007a) og også ha andre alvorlige konsekvenser for livet i havet. Det er derfor på ingen måte min anbefaling at man lar utslippene vokse uhemmet og heller satse på geoengineering. Tvert imot.

Men geoengineering bør ikke utelukkes som et mulig tiltak dersom utviklingen tvinger frem en nedkjøling av atmosfæren. Hvis det viser seg å være slik at den globale oppvarmingen blir svært problematisk, vil det være mulig å forhindre de viktigste skadene ved å tilsette atmosfæren andre stoffer som virker nedkjølende ved å begrense solinnstrålingen. Over har jeg nevnt noen av de løsningene man i dag forsker på. Man kan ikke utelukke at fremtiden kan frembringe andre og bedre former for geoengineering, særlig hvis man begynner å forske på det i større målestokk enn i dag.

Mange er skeptiske til å peke på geoengineering fordi det kan tenkes å bli en «sovepute». Det er likevel naivt å tro at et land som Kina, som i langt større grad enn for eksempel Norge vil møte reelle dilemmaer knyttet til klimaproblemet og der politisk retorikk spiller en litt annen rolle enn her hjemme, vil overse muligheten til å iverksette effektive tiltak. Før vi vet ordet av det kan geoengineering være på den internasjonale politiske dagsorden. I en slik situasjon vil det være lurt å stille forberedt.

## KONKLUSJON

Medias fremstilling av klimaproblemet skaper et inntrykk av en verden på vei mot stupet. I virkeligheten kan det 21. århundret gå inn i historien som det store spranget fra fattigdom til velstand.

For de som i dag mener overdramatisering er et middel som helliges av målet, bør det vekke til ettertanke at mange i dag trolig har en dyp skepsis til at klimaproblemet er reelt nettopp fordi dommedagsprofetiene fra 1970-tallet viste seg å være så veldig gale. Dengang ble det varslet at mangel på ressurser vil hindre oss fra å produsere nok mat og energi og at man sto foran en nært forestående katastrofe der store deler av verdens befolkning ville omkomme av sult.

De studiene som er gjort av virkninger av klimaendringer, for eksempel Stern (2006), tyder på ingen måte på at klimaendringer vil kvele det generelle bildet av fremgang,

heller ikke i utviklingslandene. Tvert imot legger Stern-rapporten til grunn av det vil være økonomisk fremgang gjennom hele århundret, selv om man ikke skal underslå at visse geografiske regioner i alvorlig grad kan bli rammet av klimaendringer.

Alt i alt er det ingen grunn til å skremme vettet av barna våre. I et historisk perspektiv er menneskeheten inne i en epoke preget av en unik velstandsutvikling. Mye tyder på at det 21. århundre først og fremst vil skrive seg inn i historiebøkene som det århundret da menneskeheten vokste seg ut av den elendighet og fattigdom som har preget livet på jorden til alle tider.

Men vi skal heller ikke underslå at utslippene av klimagasser vokser raskt. Med velstandsveksten i u-landene vil utslippsveksten forsterkes. Det er all grunn til å ta alvorlig advarene fra IPCC om at denne trenden må brytes og at utslippene på sikt må kraftig reduseres.

Det er likevel naivt å tro at store grupper av land helt uavhengig av internasjonale pålegg eller avtaler vil redusere sine utslipp betydelig. Det ser samtidig ut som om det er vanskelig å bygge internasjonale avtaler som kan gi stor oppslutning og store utslippskutt. Her bør det stimuleres til økt forskningsinnsats for å forsøke finne frem til effektive avtalekonsepter som gjør det lønnsomt for landene å delta og å innfri sine forpliktelser.

Men det kan ta tid før man har effektive internasjonale avtaler på plass. Følgelig kan utslippsveksten fremover bli høyere enn vi setter pris på. Vi må derfor være forberedt på at land som blir særlig rammet av klimaendringene vil bringe geoengineering opp på den internasjonale politiske dagsorden, enten vi liker det eller ikke. Da kan det være en fordel å stille foreberedt.

## REFERANSER:

Aaheim, A., J. S. Fuglestad, O. Godal (2006): Multi-Greenhouse Gas Mitigation and Climate Policy Special Issue. *Energy Journal*, 485 - 502.

Angel, R. (2006): Feasibility of cooling the Earth with a cloud of small spacecraft near the inner Lagrange point (L<sub>1</sub>). *PNAS* 103 46, 17184-17189.

Barrett, S. (1994): Self-enforcing international environmental agreements, *Oxford Econ. Pap.* 46, pp. 878-894

- Barrett, S. (2007a): The incredible economics of geoengineering. Forthcoming in *Environmental and Resource Economics*.
- Barrett, S. (2007b): Proposal for a New Climate Change Treaty System. *Economists' Voice* October 2007.
- Barrett, S., (2003): *Environment & Statecraft - The Strategy of Environmental Treaty-Making*, Oxford University Press, New York.
- Barrett, S., (2005): The Theory of International Environmental Agreements, in K. G. Mäler and J. R. Vincent (Ed.), *Handbook of Environmental Economics* 3, Elsevier B. V., Amsterdam 2005.
- Bower, K., T. Choularton, J. Latham, J. Sahra and S. Salter (2006): Computational assessment of a proposed technique for global warming mitigation via albedo-enhancement of marine stratocumulus clouds. *Atmospheric Research* 82, 328-336.
- Castles I., and D. Henderson (2003a): The IPCC Emission Scenarios: An Economic-Statistical Critique, *Energy & Environment* 14, 159-185.
- Castles I., and D. Henderson (2003b): Economics, Emissions Scenarios and the Work of the IPCC, *Energy & Environment* 14, 415-43.
- Crutzen, P. J. (2006): Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: A contribution to resolve a policy dilemma? *Climatic Change* 77, 211 - 219.
- Crutzen, P., A. R. Mosier, K. A. Smith, W. Winiwarter (2006): N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates climate effect of fossil fuel derived «CO<sub>2</sub> savings». Upublisert paper.
- Govindasamy, B., K. Caldeira, P.B. Duffy (2003): Geoengineering Earth's radiation balance to mitigate climate change from a quadrupling of CO<sub>2</sub>. *Global and Planetary Change* 37, 157-168.
- Hoel, M. (1990): Global Environmental Problems: The effects of unilateral actions taken by one country, *Journal of Environmental Economics and Management* 20, 55-70.
- Hoel, M. (1992): International environmental conventions: the case of uniform reductions of emissions. *Environmental and Resource Economics* 2, 141-159.
- Holtsmark, B. (2007): Internasjonalt klimasamarbeid: Hvorfor skjer det så lite? *Økonomisk forum* 2/2007.
- Holtsmark, B. (2004): Limits to growth - intet troverdig varsel om dommedag. Kronikk, Aftenposten 6.9.2004 . (<http://www.aftenposten.no/meninger/kronikker/article863820.ece>)
- Holtsmark, B. og K. Alfsen (2004): The use of PPP or MER in the construction of emission scenarios is more than a question of «metrics», *Climate Policy* 4 2, 205-216
- Holtsmark, B. og K. Alfsen (2005): PPP Correction of the IPCC Emission Scenarios: Does It Matter? *Climatic Change* 68 1, 11-19.
- IEA (2004): Biofuels for transport. International Energy Agency, Paris.
- IPCC (2007a): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the International Governmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- IPCC (2007b): Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the International Governmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- IPCC (2000): *Special Report on Emissions Scenarios*, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, 595 pp.
- Latham, J. (2002): Amelioration of global warming by controlled enhancement of the albedo and longevity of low-level maritime clouds. *Atmospheric Research Letters*.
- Latham, J. (1990): Control of global warming? *Nature* 347, 339 - 340.
- Maddison, A. (2007): *Contours of the World Economy, 1-2030AD. Essays in Macroeconomic History*. Oxford University Press, New York.
- Meadows, D. H. m. fl (1972): *Limits to Growth. A Report to the Club of Rome on the Predicament of Mankind*, Potomac, London.
- Mileham, R. (2007): Biting in the bullet. *Engineering & Technology* August 2007.
- Nordhaus, W. (2007): A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature* XLV, 686-702.
- Philipona, R. (2007): Declining aerosols - solar brightening - and the rapid temperature rise in Europe since the 1980s. Paper presentert på EMS Annual Meeting 2007.
- Stern, N. S. (2006): *Stern Review. The Economics of Climate Change*. HM Treasury. London.
- The Economist (2003): Hot potato. The Intergovernmental Panel on Climate Change had better check its calculations, Feb 13th 2003
- Tol, R.S.J. og G. W. Yohe (2006): A Review of the Stern Review. *World Economics* 7 4, 233 - 250.
- United Nations (2006): *United Nations Population Prospects. The 2006 Revision*, United Nations, New York.
- United Nations (2004): *World Population to 2300*. United Nations, New York.