

Konsekvenser ved utsettelse av klimatiltak

av

Cecilie Skjellevik

Masteroppgave

Masteroppgaven er levert for å fullføre graden

Master i samfunnsøkonomi

Universitetet i Bergen, Institutt for økonomi

Juni 2008

UNIVERSITETET I BERGEN



Forord

Jeg vil rette en stor takk til mine to veiledere Odd Godal og Sigve Tjøtta. Dere har kommet med mange nyttige tips og gode tilbakemeldinger underveis i arbeidet. Jeg vil også takke resten av "Miljøgruppen" for tilbakemeldinger, godt samarbeid og støttende ord underveis.

Anders Sunnås Gundersen og Jonas Gade Christensen fortjener også takk for korrekturlesing, konstruktive innspill og viktig støtte på slutten.

Jeg har hatt stor glede av å arbeide med denne masteroppgaven. Det har til tider vært tunge tak, men jeg sitter igjen med en følelse av mestring og nyttig kunnskap.

Cecilie Skjellevik

Cecilie Skjellevik, Bergen 2.juni 2008

Sammendrag

I dette arbeidet ser jeg nærmere på ulike konsekvenser ved å utsette klimatiltak, som har til formål å redusere CO₂-utslipp. Jeg bruker en økonomisk vekstmodell med integrert miljøsektor, kalt DICE-modellen, for å svare på problemstillinger knyttet til hvor stor effekt en utsettelse av klimatiltak vil ha på den globale økonomien, hvor stor effekt en utsettelse av tiltak vil ha på temperaturutviklingen, samt hvor stor økning en vil få i karbonskatter. Jeg ser både på tilfeller med og uten et temperaturmål på maksimalt 2°C over 1900-nivå.

Ved å sammenlikne konsum over tid, viser resultatene at en utsettelse av klimatiltak i 10 til 50 år koster verdenssamfunnet relativt lite, sammenliknet med en optimal klimapolitikk der tiltak iverksettes allerede nå. Med en utsettelse i 20 år, vil det konstante nivået av konsum per capita reduseres med 1,4 \$ for hver ti års periode, mens en utsettelse i 50 år vil gi en nedgang på 6 \$. Ved å inkludere en restriksjon på maksimal temperaturstigning på 2°C over 1900-nivå, vil dette øke kostnadene ved utsettelse av klimatiltak sammenliknet med tilfellet uten restriksjon. Ved utsettelse av klimatiltak i 20 år, vil nedgang i konsum per capita være omtrent 3,4 \$ for hver ti års periode, mens utsettelse i 50 år vil gi en nedgang på 33 \$.

Selv om kostnaden ved utsettelse av tiltak er relativt liten, vil en utsettelse kunne få stor effekt på prisen for utslipp av ett tonn karbon. Dette gjelder særlig dersom temperaturen ikke skal stige med mer enn 2°C over 1900-nivå. Dersom en venter med klimatiltak i 50 år, vil karbonskatten øke til over 800 \$ om 100 år. Hovedkonklusjonen er derfor at utsettelse av klimatiltak vil koste verdenssamfunnet relativt lite, men at effekten på karbonskatten kan bli stor.

Innholdsfortegnelse

FORORD	II
SAMMENDRAG	III
INNHALDSFORTEGNELSE	IV
1. INNLEDNING	5
2. DICE-MODELLEN	8
2.1 INTRODUKSJON	8
2.2 DICE-MODELLEN SOM VEKSTMODELL	8
2.3 STRUKTUREN I DICE-2007.....	9
2.3.1. Tradisjonell økonomisk sektor.....	10
2.3.2. Klimasektoren	17
3. SCENARIOENE I DICE-2007	21
4. OPTIMALT SCENARIO	24
5. RESULTATER	27
5.1. METODE FOR SAMMENLIKNING AV RESULTATER	27
5.2. ULIKE RESULTATER	28
<i>Konstant periodevis konsumekvivalent</i>	28
<i>Konstant periodevis konsumekvivalent, maks 2°C over 1900-nivå</i>	29
<i>Temperatur</i>	31
<i>Karbonskatt</i>	32
6. OPPSUMMERING OG KONKLUSJON	37
APPENDIKS A – DICE-MODELLEN I GAMS	39
APPENDIKS B - UTLEDNING AV KONSTANT PERIODEVIS KONSUMEKVIVALENT	52
APPENDIKS C – ULIKE FIGURER OG TABELLER	55
REFERANSER	56

1. Innledning

FNs klimapanelens fjerde hovedrapport konkluderer med at det er over 90 % sannsynlighet for at den globale oppvarmingen er menneskeskapt, som følge av økte utslipp av drivhusgasser. Med en videre temperaturstigning opp mot 2°C over preindustrielt nivå er det fare for alvorlige og irreversible effekter (FNs klimapanel, 2007), og både EU og Norge har derfor valgt et langsiktig mål om å holde seg under denne 2°C-grensen. (EU, 2008) (Miljøverndepartementet, 2007). FNs klimapanel (2007) konkluderer videre med at det må kraftige utslippsreduksjoner til for å begrense temperaturstigningen fremover. Dette er de fleste fagmiljø enige om, men det er fremdeles uenighet rundt *når* en bør redusere utslippene. I en artikkel av Steffen Kallbekken og Nathan Rive (2007) settes det spørsmål ved om en kan klare å nå det aktuelle temperaturmålet i år 2100, dersom en utsetter utslippsreduksjon i 20 år fra 2013. De mener at utslippsreduksjon bør starte på et tidlig tidspunkt. Wigley, Richels og Edmonds (1996) argumenterer i stedet for at en i enkelte tilfeller bør utsette utslippsreduksjon, blant annet på grunn av fremtidig teknologiutvikling som vil gjøre utslippsreduksjonen billigere.

Mitt konkrete bidrag til å øke kunnskapen på dette feltet består i å se nærmere på hvilke konsekvenser en utsettelse av klimatiltak kan få, ved bruk av en veldokumentert modell kalt The Dynamic Integrated model of Climate and the Economy (DICE). Modellen er utviklet av William Nordhaus og integrerer økonomisk vekst, CO₂-utslipp, karbonsyklus, vitenskap om klimaet og klimatiltak i en og samme modell. Dette åpner muligheten for å se på kostnader og gevinster ved tiltak som har til hensikt å dempe eller stanse den globale oppvarmingen (Nordhaus, 2007).

DICE-modellen kan brukes til å finne den utviklingsbanen for kapitalakkumulasjon og reduksjon i drivhusgasser som gir høyest samlet neddiskontert nytte, altså den optimale utviklingsbanen. Denne banen representerer en optimal klimapolitikk, der tiltak for å redusere CO₂-utslipp iverksettes fra første periode. Jeg definerer egne scenarioer i DICE for å se hva som for eksempel skjer med kostnadene dersom verden følger en klimapolitikk som utsetter klimatiltak i 10 til 50 år. Jeg lager også scenarioer der jeg inkluderer en restriksjon på maksimal temperaturstigning på 2°C over 1900-nivå¹ for å se på hvordan dette påvirker

¹ I EUs temperaturmål på maksimalt 2°C refereres det til førindustrielt nivå i 1750. Nordhaus bruker år 1900 som referanseår. Utslippstall fra tidligere perioder er svært usikre (Romstad, Fuglestad & Berntsen, 2003), noe

optimal politikk og konsekvenser for utsettelse av klimatiltak i 10 til 50 år. De konkrete problemstillingene for oppgaven er som følger:

- 1) Hvor mye koster det verden å utsette klimatiltak i 10 til 50 år, sammenliknet med et optimalt tilfelle der klimatiltak iverksettes straks?
- 2) Hvor stort blir dette skillet dersom målet er at temperaturen ikke skal stige med mer enn 2°C over 1900-nivå?
- 3) Hva vil en utsettelse av tiltak i 10 til 50 år ha å si for utviklingen av den gjennomsnittlige overflatetemperaturen?
- 4) Hvor mye øker karbonskatten ved optimal politikk med restriksjon på 2°C, sammenliknet med optimal politikk uten dette temperaturmålet? Hvilken effekt vil utsettelse av tiltak i 10 til 50 år ha på karbonskatten med og uten et slikt temperaturmål?

Den overordnede konklusjonen er at en utsettelse av klimatiltak i 10 til 50 år koster verdenssamfunnet relativt lite, men at utsettelsen kan få stor effekt på prisen for å slippe ut karbon i atmosfæren. Det blir særlig høy karbonskatt dersom temperaturen ikke skal stige mer enn 2°C over 1900-nivå. Ved å sammenlikne periodevis konstant konsumekvivalent (\bar{C}), som er et uttrykk for et konstant nivå av konsum over tid, viser resultatene at en utsettelse av klimatiltak i 20 år vil redusere det konstante nivået av konsum per capita med 1,4 \$ for hver ti års periode, mens en utsettelse i 50 år vil gi en nedgang på 6 \$. Ved å inkludere en restriksjon på maksimal temperaturstigning på 2°C over 1900-nivå, vil dette øke kostnadene ved utsettelse av klimatiltak sammenliknet med tilfellet uten restriksjon. Ved utsettelse av klimatiltak i 20 år, vil nedgang i \bar{C} per capita være omtrent 3,4 \$ for hver ti års periode, mens utsettelse i 50 år vil gi en nedgang på 33 \$. Karbonskatten vil i det siste tilfellet øke til over 800 \$ om 100 år.

Jeg vil gi en nærmere presentasjon av DICE-modellen i kapittel 2, der jeg først gir en kort introduksjon før jeg går nærmere inn på de strukturelle forutsetningene og den økonomiske teorien som ligger til grunn for modellen. I kapittel 3 presenterer jeg ulike scenarioer i DICE, samt scenarioene jeg selv har definert. I kapittel 4 blir det kun fokus på det optimale

som kan være årsaken til Nordhaus sitt valg. Mann et al. (2000, referert av Nationale Climatic Data Center [NCDC]) har estimert at temperaturen i 1900 var ca. $6,3 \cdot 10^{-3}$ mindre enn i 1750. Det vil si at målet på 2°C over 1900-nivå er litt mer restriktivt enn EUs mål på 2°C over 1750-nivå, men at forskjellen er relativt liten.

scenarioet, ettersom dette er brukt som referansescenario gjennom oppgaven. Resultatene blir så presentert i kapittel 5 og oppsummert i kapittel 6. Her kommer jeg også med en kort konklusjon om hva myndighetene bør gjøre for å nå et mål på 2°C over 1900-nivå.

2. DICE-modellen

2.1 *Introduksjon*

The Dynamic Integrated model of Climate and the Economy (DICE) er utviklet av William Nordhaus, som er professor i økonomi ved Yale University i USA. Modellen er en av de første dynamiske modellene som ble utviklet for å se på samspillet mellom miljø og økonomisk vekst, og den ble for første gang presentert i 1990. Siden den gang har Nordhaus med medarbeidere ved flere anledninger foretatt justeringer av modellen grunnet utvikling i natur- og samfunnsvitenskapen, samt på grunn av mer nøyaktige opplysninger om utslipp, energiforbruk og økonomiske data (se Nordhaus, 1994 og Nordhaus og Boyer, 2000). Modellen har også blitt utvidet til en regionalisert versjon, kalt a Regional dynamic Integrated model of Climate and the Economy (RICE) (Nordhaus 2007).

Jeg skal konsentrere meg om DICE-2007, som er den siste versjonen av DICE-modellen. Nordhaus sin filosofi bak DICE har vært å lage en liten og transparent modell som lett kan forstås og som lett kan modifiseres etter hvert som nye data blir tilgjengelig. Modellen kan særlig hjelpe myndighetene til å bedre forstå den komplekse avveiningen som er tilstede i klimapolitikken. En god analyse kan hjelpe politikere med å balansere mellom en kostbar klimaendringsspolitikk, som dagens innbyggere vil finne uakseptabel, og en politikk der en ikke tar hensyn til klimaet, som vil gå ut over fremtidige generasjoner (Nordhaus og Boyer, 2000). En økonomisk analyse av klimaproblemet vil først og fremst bestå i å sammenligne kostnadene en vil få ved å innføre tiltak som kan stoppe den globale oppvarmingen, mot den skaden en kan få på miljøet og økonomien dersom en lar utviklingen gå sin gang (Nordhaus, 2007).

2.2 *DICE-modellen som vekstmodell*

DICE-2007 ser på klimaendringer i rammeverket av økonomisk vekstteori, der samfunnet investerer i kapital, utdanning og teknologiutvikling. Investeringene gjør at det blir mindre å bruke på konsum i investeringstidspunktet, men det øker samtidig fremtidig konsum på grunn av økt fremtidig produksjon, kapital, humankapital og bedre teknologi. I DICE-modellen utvides dette perspektivet til også å inkludere klimainvesteringer i form av utslippsreduksjon. Utslippsreduksjon får en ved å konsumere mindre. Ved å foreta klimainvesteringer, ofrer en

dermed konsum i dag, men reduserer samtidig utslipp som ville gått utover konsum i fremtiden. Dette kommer av at utslippene ville ført til skadelige klimaendringer med negativ effekt på økonomien. Avkastningen på en klimainvestering er altså mindre skade på miljøet. Ved miljøinvestering øker en på denne måten mulighetene for konsum i fremtiden (Nordhaus, 2007).

Modellen kan brukes til å finne den utviklingsbanen for kapitalakkumulasjon og reduksjon i drivhusgasser som gir høyest samlet neddiskontert nytte, altså den optimale utviklingsbanen. Utviklingsbanen for utslippsreduksjon kan i modellen tolkes som likevekten ved perfekt frikonkurranse der alle eksternaliteter, som for eksempel forurensing, er internalisert i de marginale produksjonskostnadene. Ved å bruke en slik tolkning antas det dermed at miljøet brukes på en effektiv måte. Dette betyr at modellen antar et globalt samarbeid, der ulike land internaliserer den globale kostnaden av deres utslipp av drivhusgasser i produksjonskostnadene, noe som vil virke inn på hva som er optimalt utslipp (Nordhaus & Boyer, 2000).

DICE-2007 ser på en svært lang tidshorisont sammenliknet med tilsvarende vekstmodeller der klima blir integrert. Modellen starter i år 2005 og varer til år 2605. Denne perioden blir delt inn i 60 mindre perioder, som hver er på 10 år. En slik tidshorisont er hensiktsmessig fordi det er treghet i klimasystemet (Nordhaus, 2007).

2.3. *Strukturen i DICE-2007*

DICE-2007 er en aggregert modell som ser på verden under ett. Modellen består av en tradisjonell økonomisk sektor og en klimasektor, som henger sammen gjennom klimaskader. Disse blir presentert i DICE ved hjelp av ulike variabler, parametre, likninger og restriksjoner. Jeg skal ikke gå inn på alle disse, men konsentrere meg om de viktigste likningene, som kan gi forståelse av modellen.

Modellen løses i et program kalt The General Algebraic Modeling System (GAMS), som er et modelleringsystem for matematisk optimering. I Appendix A finnes en samlet oversikt over alle likninger, parametre og restriksjoner slik de er programmert i GAMS. For en komplett beskrivelse av DICE-2007, se Nordhaus (2007). I det følgende vil jeg gå gjennom de strukturelle forutsetningene og den økonomiske teorien som ligger til grunn for modellen.

2.3.1. Tradisjonell økonomisk sektor

Den tradisjonelle økonomiske sektoren består av ulike økonomiske sammenhenger for blant annet produksjon, kapitalakkumulasjon og utslipp. Ettersom DICE-modellen er en aggregert modell, gis det kun ett nivå av de ulike variablene. Modellen bruker her aggregerte estimat som er regnet ut på bakgrunn av data fra flere ulike regioner. De viktigste likningene i sektoren vil bli presentert under.

Periodevis nytte

Nyttefunksjonen (1) representerer verdens samlede nytte i hver periode, og er en funksjon av konsum per capita, $c(t)$. I modellen er konsum et bredt begrep som inkluderer all velferd. Her inngår konsum av markedsvarer- og tjenester, men også konsum av goder som er utenfor markedet, slik som fritid og helse.

$$\text{Periodu}(t) = \left[\frac{c(t)^{1-\alpha} - 1}{1-\alpha} \right] \quad (1)$$

Vi ser at nytten i hver periode avhenger av konsum per capita, $c(t)$, samt elastisiteten til den marginale nytten av konsum, α . I modellen er α satt til å være en konstant med verdien 2. I

GAMS blir konsum per capita definert som $c(t) = \frac{C(t) \cdot 1000}{L(t)}$, der C er konsum og L er

arbeidskraft. Arbeidskraften er til en hver tid antatt å være lik samlet populasjon. Årsaken til at konsum multipliseres med 1000, er ulik verdibenevnelse på konsum og populasjon i modellen.

Verdens samlede befolkning er en eksogen variabel, og blir i de ulike periodene bestemt ved å gå ut ifra at befolkningen maksimalt kan være 8,5 milliarder. Befolkningsveksten i de ulike periodene vil avta når populasjonen går mot denne grensen. Nordhaus har hentet den maksimale grensen fra stokastiske projeksjoner gjort av International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA) (Nordhaus, 2007).

Velferdsfunksjonen

I DICE-modellen antas det at formålet med økonomisk politikk og klimapolitikk vil være å optimere konsum over tid. Videre antas det at verden har veldefinerte preferanser, som kan representeres av en sosial velferdsfunksjon. Denne er gitt ved:

$$W = \sum_{t=1}^{60} \left(\frac{10 \cdot RR(t) \cdot L(t) \cdot (\text{Periodu}(t))}{\text{scale1}} \right) + \text{scale2} \quad (2)$$

Aggregert neddiskontert velferd, W , er gitt ved produktet av populasjon, $L(t)$, periodevis nytte, $\text{Periodu}(t)$, og den gjennomsnittlig sosiale diskonteringsfaktoren for nytte, $RR(t)$, summert over alle perioder t . Tallet 10 refererer til antall år i én periode, mens scale 1 og scale 2 er skalakoeffisienter på henholdsvis 194 og 381800. Velferdsfunksjonen er økende i konsum per capita for hver generasjon, men har avtakende marginal nytte ved økt konsum.

Parameteren for den gjennomsnittlige sosiale diskonteringsfaktoren for nytte, $RR(t)$, er definert som:

$$RR(t) = \frac{1}{(1 + \rho)^{10(t-1)}} \quad (3)$$

Her er ρ den sosiale tidspreferanseraten, som forteller noe om i hvor stor grad verden foretrekker konsum i dag fremfor konsum i morgen. I modellen er ρ satt til 0,015. Fra (3) ser vi at den gjennomsnittlige sosiale diskonteringsfaktoren, $RR(t)$, blir lavere over tid. Dette betyr at periodevis nytte i en fremtidig periode blir mindre vektlagt enn nytten i nåværende periode.

Bruttoproduksjon

I nettoproduksjonen introduseres bindeleddet mellom den økonomiske sektoren og klimasektoren. For å forklare denne sammenhengen på best mulig måte, starter jeg med å vise likningen for bruttoproduksjonen, som representerer produksjonen slik den ville vært dersom det ikke var miljøskade tilstede. Denne er gitt ved:

$$Y_{\text{brutto}}(t) = \underbrace{AL(t) L(t)^{1-\gamma} K(t)^\gamma}_{\text{Cobb-Douglas produktfunksjon}} \quad (4)$$

Bruttoproduksjonen i (4) er gitt ved en Cobb-Douglas produktfunksjon med innsatsfaktorene total faktorproduktivitet, $AL(t)$, arbeidskraft, $L(t)$, samt av kapital, $K(t)$, der γ er produksjonselastisiteten med hensyn på kapital. Det antas konstant skalaavkastning i kapital og arbeid.

Teknologi, A , er eksogent gitt, og er i modellen bestemt av estimert teknologinivå og teknologiutvikling i ulike regioner. Det er antatt at teknologiske endringer kan forekomme som generell økonomisk teknologisk utvikling og som karbonsparende teknologisk utvikling. Den første er Hicks-nøytral, noe som betyr at det skjer en effektivisering av samtlige innsatsfaktorer i produksjonen (Grepperud & Rasmussen, 1998), mens den karbonsparende utviklingen er en reduksjon i mengde CO_2 -utslipp i forbindelse med bruk av karbon ved produksjon. Bruk av energi kommer dermed implisitt med i uttrykket for bruttoproduksjon i (4) gjennom teknologien A . Energi kan enten være karbonbasert energi, slik som kull, petroleum og naturgass, eller ikke-karbonbasert energi, slik som solenergi og kjernekraft.

Bruttoproduksjonen gitt i (4) er produksjonen slik den ville vært dersom det ikke var miljøskade tilstede. Nettoproduksjonen i DICE-2007 vil imidlertid avhenge av klimaskade, $\Omega(t)$, forårsaket av utslipp av CO_2 , samt av reduksjonskostnader, $\Lambda(t)$, ved reduksjon av CO_2 -utslipp. Disse vil bli nærmere presentert under.

Klimaskade

Klimaskaden, $\Omega(t)$, forårsakes av temperaturendring i atmosfæren, $T_{\text{AT}}(t)$, målt i forhold til 1900-nivå.

Skaden uttrykkes som:

$$\Omega(t) = 1 + \omega_1 T_{\text{AT}}(t) + \omega_2 T_{\text{AT}}(t)^2 + \omega_3 T_{\text{AT}}(t)^3 \quad (5)$$

De tre parametrene ω_1 , ω_2 og ω_3 er estimerte parametere som inkluderer skade i ulike sektorer, slik som jordbruk, kostnaden ved økt havnivå, ugunstig innvirkning på helse, skader utenfor markedet og potensielle kostnader ved katastrofale skader. Disse parametrene er på

henholdsvis 0, 0.0028 og 2. På grunn av kompleksiteten og få empiriske studier på dette feltet, er likningen for klimaskade unøyaktig.

Det økonomiske tapet, M_{LOSS} , forbundet med denne klimaskaden er uttrykt ved:

$$M_{\text{LOSS}}(t) = AL(t) \cdot L(t)^{1-\gamma} \cdot K(t)^{\gamma} \left(1 - \frac{1}{1 + 0,0028 \cdot T_{\text{AT}}(t)^2} \right) \quad (6)$$

Fra (6) kan vi se at tapet på økonomien, forårsaket av klimaskade, øker ved økt produksjon og stigende temperatur i atmosfæren.

Reduksjonskostnader

Reduksjonskostnadene er kostnader forbundet med å redusere utslipp av karbon i produksjon. Reduksjonskostnadsraten, $\Lambda(t)$, er gitt ved:

$$\Lambda(t) = \text{Partfract}^{(1-\text{Exp cost } 2)} \cdot \text{Cost1}(t) \cdot \mu(t)^{\text{Exp cost } 2} \quad (7)$$

Partfract i likning (7) står for hvor stor del av utslippene som er underlagt kontrollmekanismer. I DICE-2007 er denne parameteren satt til 1. Cost1(t) er den justerte prisen på backstop-teknologi på ethvert tidspunkt. Backstop-teknologi er i modellen definert som en teknologi som gjør all bruk av karbonbasert energi overflødig. Kostnaden for en slik teknologi er lik den marginale kostnaden ved å redusere utslippet av den siste enheten av karbon. Likningen for Cost1(t) finnes i Appendiks A under parametre. $\mu(t)$ er utslippskontrollraten og kan være fra 0 til 1. Dette er en endogen variabel som i hver periode tar den verdien som gir optimal nytte over tid, gitt den klimapolitikken en til enhver tid velger å se på. Exp cost 2 er eksponenten til utslippskontrollraten, satt til 2,8. De ulike parametrene har Nordhaus kalibrert mot nylige studier om reduksjonskostnader.

Ved å sette inn for de ulike parametrene, kan uttrykket for reduksjonskostnadsraten i (7) forenkles til:

$$\Lambda(t) = \text{Cost1}(t) \cdot \mu(t)^{2,8} \quad (8)$$

Selve reduksjonskostnadene finner en ved å multiplisere reduksjonskostnadsraten med bruttoproduksjon:

$$\text{Reduksjonskostnader} = AL(t) \cdot L(t)^{1-\gamma} \cdot K(t)^\gamma \cdot \Lambda(t) \quad (9)$$

Fra (9) ser vi at reduksjonskostnadene er proporsjonale med bruttoproduksjonen. Funksjonen til reduksjonskostnadene er estimert til å være sterkt konveks.

Reduksjon i produksjon som følge av disse kostnadene, kan uttrykkes som i (10):

$$AL(t) \cdot L(t)^{1-\gamma} \cdot K(t)^\gamma \cdot [1 - \Lambda(t)] \quad (10)$$

Nettoproduksjon

Vi kan nå definere nettoproduksjonen, $Y(t)$, der en tar hensyn til klimaskade, $\Omega(t)$, forårsaket av utslipp av CO_2 , samt av reduksjonskostnader, $\Lambda(t)$, ved reduksjon av CO_2 -utslipp.

$$Y(t) = AL(t) \cdot L(t)^{1-\gamma} \cdot K(t)^\gamma \cdot \left[\frac{1 - \text{Cost}1(t) \cdot \mu(t)^{2,8}}{(1 + 0,0028 \cdot T_{AT}(t)^2)} \right] \quad (11)$$

Likning (11) kan videre forenkles til:

$$Y(t) = AL(t) \cdot L(t)^{1-\gamma} \cdot K(t)^\gamma \cdot \left[\frac{1 - \Lambda(t)}{\Omega(t)} \right] \quad (12)$$

Sammenhengen i (12) viser at nettoproduksjonen synker med økt klimaskade, $\Omega(t)$, og økt reduksjonskostnadsrate, $\Lambda(t)$.

Investering

Nettoproduksjon, $Y(t)$, kan brukes til konsum eller til å investere i ny realkapital. Fordelingen av produksjon mellom konsum, $C(t)$, og bruttoinvesteringer, $I(t)$, kan skrives som:

$$Y(t) = C(t) + I(t)$$

Bruttoinvesteringer blir dermed:

$$I(t) = Y(t) - C(t) \quad (13)$$

Sparing

Spareraten, $S(t)$, er den delen av nettoinvesteringer som blir investert på ethvert tidspunkt. Spareraten er dermed lik investeringer.

$$S(t) = \frac{I(t)}{Y(t) + 0,001} \quad (14)$$

I (14) blir nevneren blir det lagt til et tall nært 0, slik at den aldri blir negativ. Dette kommer av at modellen skal kunne kjøres i GAMS selv om $Y(t)$ er 0.

Kapitalbalansen

Kapitalbalansen viser hvordan kapitalen utvikler seg over tid. Likningen er gitt ved:

$$K(t+1) \leq (1 - \delta_K)^{10} \cdot K(t) + 10 \cdot I(t) \quad (15)$$

Her er $K(t+1)$ kapital i neste periode, δ_K årlig kapitalslit, $K(t)$ kapital i dag og $I(t)$ investeringer. $(1 - \delta_K)^{10}$ er opphøyd i 10 ettersom én periode går over 10 år. På samme måte er investeringer multiplisert med 10 ettersom $I(t)$ gir investeringer per år. Så lenge investeringene er høyere enn kapitalslit, vil vi få en stadig akkumulering av kapital.

Karbonutslipp fra industri

Likning (16) viser karbonutslipp fra industri. Dette gjelder de utslipp fra industri som ikke er med i myndighetenes utslippskontroll. Her foregår det altså produksjon uten rensing av CO₂-utslippene. De ukontrollerte CO₂-utslippene fra industri er som følger:

$$E_{\text{Ind}}(t) = 10 \cdot \sigma(t) \cdot [1 - \mu(t)] \cdot AL(t) \cdot K(t)^\gamma \cdot L(t)^{1-\gamma} \quad (16)$$

Fra (16) ser vi at utslipp av karbon fra industri avhenger av bruttoproduksjon, gitt ved $AL(t) \cdot K(t)^\gamma \cdot L(t)^{1-\gamma}$, $\sigma(t)$ som er nivå av karbonintensitet og utslippskontrollraten, $\mu(t)$. Karbonintensiteten, $\sigma(t)$, er forholdet mellom ukontrollerte utslipp fra industri og total produksjon, som forteller hvor effektivt karbon brukes ved produksjon. Karbonintensiteten er estimert for ulike regioner og deretter aggregert slik at vi får én global rate. Likning (16) viser at jo større utslippskontrollrate, $\mu(t)$, dess mindre CO₂ blir sluppet ut. Uttrykket er multiplisert med 10 ettersom utslipp og produksjon måles årlig, mens DICE-2007 er ute etter hvor store utslippene er i løpet av en ti års periode.

Totale karbonutslipp

Den totale mengden med karbonutslipp, $E(t)$, inkluderer utslipp fra både industri og fra bruk av landområder. Samlet karbonutslipp er dermed:

$$E(t) = 10 \cdot \underbrace{\sigma(t) \cdot [1 - \mu(t)] \cdot AL(t) \cdot L(t)^{1-\gamma} \cdot K(t)^\gamma}_{\text{Karbonutslipp fra industri}} + E_{\text{land}}(t) \quad (17)$$

Her er $E_{\text{Land}}(t)$ utslipp av karbon ved bruk av landområder. I DICE-2007 er det kun industrielle utslipp som er endogen variabel, mens $E_{\text{Land}}(t)$ er eksogent gitt med utgangspunkt fra andre studier og modeller.

Restriksjon på fossilt brensel

Fossilt brensel er en ikke-fornybar ressurs, og tilbudet av karbonbasert energi er derfor begrenset. Karbon blir i modellen målt i gigatonn karbon (GtC). Dette er den samme enheten som brukes på utslipp av karbon ved produksjon. I DICE-2007 er det tilgjengelig 6000 GtC, og restriksjonen er formulert på følgende måte:

$$CCA.\text{up}(t) = \text{FOSSLIM} \quad (18)$$

$CCA(t)$ er kumulative karbonutslipp fra industri, og $CCA.\text{up}(t)$ representerer dermed den øvre mulige grensen for kumulative karbonutslipp fra industri. FOSSLIM står for det en maksimalt kan hente ut av fossilt brensel. Likning (18) viser dermed at kumulative utslipp må være mindre eller lik restriksjonen på karbon, som er 6000 GtC.

Likningen for kumulative utslipp fra industri er gitt som:

$$CCA(t + 1) = CCA(t) + E(t) \quad (19)$$

Likning (19) forteller at kumulativt utslipp i periode $t + 1$ er summen av kumulative industrielle utslipp i periode t og samlet utslipp i periode t . Denne sammenhengen gir et unøyaktig bilde på hva de kumulative utslippene av karbon fra industri er, ettersom $E(t)$ også inneholder karbonutslipp fra bruk av landområder, som vist i likning (17). En konsekvens av dette er at utslipp av karbon fra skog også blir lagt til i regnskapet for hvor mye fossilt brensel som er brukt.

I de scenarioene jeg skal se på i denne modellen, vil imidlertid FOSSLIM=6000 GtC ikke være en bindende restriksjon. Det vil si at det er optimalt å bruke mindre enn 6000 GtC samlet over de 60 periodene i modellen.

Modellen tar ikke hensyn til utvinningskostnader, og det antas at fossilt brensel brukes optimalt over tid.

2.3.2. Klimasektoren

Klimasektoren i DICE-2007 inneholder geofysiske sammenhenger som gir en beskrivelse av klimaet, slik som karbonsyklusen, strålingsbalansen og temperaturendringer.

Karbonsyklusen

Karbonsyklusen baserer seg på en tredelt reservoarmodell som er kalibrert mot større karbonsyklusmodeller og historiske data. Denne viser sammenhengen mellom konsentrasjonen av drivhusgasser og klimaendringer. Reservoarmodellen er gitt ved:

$$M_{AT}(t + 1) = M_{AT}(t) \cdot \phi_{11} + M_{UP}(t) \cdot \phi_{21} + E(t) \quad (20)$$

$$M_{UP}(t + 1) = M_{AT}(t) \cdot \phi_{12} + M_{UP}(t) \cdot \phi_{22} + M_{LO}(t) \cdot \phi_{32} \quad (21)$$

$$M_{LO}(t+1) = M_{LO}(t) \cdot \phi_{33} + \phi_{23} \cdot M_{UP}(t) \quad (22)$$

De tre sammenhengene over representerer ulike reservoar, som er atmosfæren (20), øverste del av havene (21) og dypt hav (22). Variablene $M_{AT}(t+1)$, $M_{UP}(t+1)$ og $M_{LO}(t+1)$ er mengde karbon i de ulike reservoarene i periode $(t+1)$. $E(t)$ er samlet utslipp av karbon, mens

ϕ_{11} , ϕ_{21} , ϕ_{12} , ϕ_{22} , ϕ_{32} , ϕ_{23} og ϕ_{33} er parametre som bestemmer hvor stor andel av

karbonkonsentrasjonen som blir overført mellom de ulike lagene og mellom perioder.

Parametrene er kalibrert mot karbonsyklusen i *Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change (MAGICC)*, og er satt til henholdsvis 0.810712, 0.189288, 0.097213, 0.852787, 0.05, 0.003119, 0.996881.

Dersom vi setter inn for parametrene i likning (20) for karbonkonsentrasjon i atmosfæren, får vi:

$$M_{AT}(t+1) = M_{AT}(t) \cdot 0,810712 + M_{UP}(t) \cdot 0,189288 + E(t) \quad (23)$$

Her kan vi lettere se hvordan karbonkonsentrasjonen i atmosfæren utvikler seg over tid. I neste periode vil rundt 81 % av dagens karbon i atmosfæren pluss omtrent 18,9 % av dagens karbon i øverste del av havene, komme på toppen av nye utslipp, $E(t)$. Dersom karbonutslippene fra industri og landområder er like store eller stigende i hver periode, vil dette føre til en akkumulering av karbonkonsentrasjonen i atmosfæren over tid. Selv om en innfører tiltak som gjør at utslippene synker, kan vi over de nærmeste periodene oppleve en videre akkumulering av karbonkonsentrasjon, dersom nedgangen i $E(t)$ ikke er stor nok.

I (21) og (22) ser vi hvordan mengde karbon blander seg mellom de ulike lagene fra én periode til den neste. Det har vist seg at sammenblandingen mellom atmosfæren og dypt hav går svært sakte.

Strålingsbalansen

Strålingsbalansen er balansen mellom den strålingen som kommer inn mot jordoverflaten og strålingen som forsvinner ut gjennom atmosfæren. Ved økt karbonkonsentrasjon i atmosfæren, endrer strålingsbalansen seg. Likningen for dette er gitt ved:

$$F(t) = F_{CO_2} \cdot 2x \cdot \left[\log \left(\frac{M_{atv}(t) + 0,000001}{596,4} \right) \cdot \frac{1}{\log 2} \right] + \text{Forcoth}(t) \quad (23)$$

Denne sammenhengen bygger på empiriske målinger og større klimamodeller. F_{CO_2x} er en skalar estimert til 3,8 watt per kvadratmeter, som knyttes til strålingen en får ved en dobling av CO_2 i atmosfæren. $Matav(t)$ er gjennomsnittlig mengde karbon i atmosfæren, målt over 2 perioder. Den gjennomsnittlige konsentrasjonen blir så delt på konsentrasjonen ved 1750-nivå, som er estimert til å være 596,4 GtC. Verdien 0,000001 er plussset på i telleren, slik at telleren aldri blir 0 ved kjøring av DICE-2007.

Som nevnt i presentasjonen av karbonutlipp i (17), er det kun CO_2 -utslipp fra industri som er en endogen utslippsvariabel. CH_4 , N_2O , KFK-gasser og andre gasser som bidrar til klimaendring, er gitt som samlet eksogen trend i uttrykket $Forcoth(t)$ i (23). DICE-modellen ville vært mer komplett med disse gassene som endogene variabler. Det er likevel valgt å kun ha CO_2 som endogen utslippsvariabel, ettersom det er denne gassen som i størst grad bidrar til temperaturstigning. Nordhaus trekker frem at omfanget av de andre drivhusgassene er små og i mange tilfeller strengt kontrollerte, samt at egenskapene til enkelte drivhusgasser er lite forstått.

Fra sammenhengen i (23) ser vi at strålingsbalansen, $F(t)$, øker ved økt konsentrasjon av karbon i atmosfæren.

Temperatur

Sammenhengen mellom strålingsbalansen og temperatur, er gitt ved to likninger.

$$T_{AT}(t+1) = T_{AT}(t) + c_1 \cdot \{F(t+1) - LAM \cdot T_{AT}(t) - c_3 \cdot [T_{AT}(t) - T_{LO}(t)]\} \quad (24)$$

$$T_{LO}(t+1) = T_{LO}(t) + c_4 \cdot [T_{AT}(t) - T_{LO}(t)] \quad (25)$$

Disse likningene bygger på store sirkulasjonsmodeller av atmosfæren og havene, og de ulike parametrene er kalibrert mot disse. Her er T_{AT} temperatur i atmosfæren og T_{LO} temperaturen i dypt hav. Begge er målt i forhold til 1900-nivå. $F(t)$ er strålingsbalansen og c_1 , c_3 og c_4 er skalarer. Parameteren LAM er definert som forholdet mellom stråling ved en dobling av CO_2 i atmosfæren og temperaturendring ved en slik dobling. Likningene (24) og (25) representerer klimaendringer i modellen, og viser at dersom strålingsbalansen, $F(t)$, øker til et høyere nivå,

vil temperaturen i atmosfæren stige. Varmen vil så spre seg til øverste del av havene og tilslutt til dypt hav. Tidslagene i klimamodellen kommer blant annet av at det tar tid før varmen sprer seg i de ulike lagene.

I DICE-2007 representeres klimaskade som endring i den globale gjennomsnittstemperaturen, slik som vist i likning (5):

$$\Omega(t) = 1 + \omega_1 \cdot T_{AT}(t) + \omega_2 \cdot T_{AT}(t)^{\omega_3}$$

Sammenhengen mellom klimaendringer og effekt på økonomien er svært viktig i modellen, ettersom definisjonen av denne sammenhengen vil være avgjørende for hvor mye reduksjon i CO₂-utslipp som er ønskelig. Sammenhengen er imidlertid usikker på grunn av kompleksiteten og lite forskning på klimaskader, samt hvordan disse påvirker økonomien. DICE-modellen tar utgangspunkt i estimat fra tidligere studier om denne type skade, men har oppdatert disse med hensyn på nyere data. Hovedantakelsen er at små og gradvise klimaendringer vil gjøre liten skade, mens skaden vil stige ikke-lineært med økende klimaendringer.

3. Scenarioene i DICE-2007

Et scenario er en mulig fremtidig utvikling, gitt ulike restriksjoner og antakelser. Scenarioer er dermed ikke nøyaktige prediksjoner av fremtiden, men de kan hjelpe oss til å visualisere en alternativ fremtid og til å identifisere uønsket utvikling (FNs klimapanel, 2001).

DICE-modellen tar blant annet for seg scenarioer som er knyttet til ulike former for miljøpolitikk², og ser på hvordan disse påvirker den globale velferden. Jeg skal konsentrere meg om noen utvalgte scenarioer, samt definere noen egne.

Optimal run

Det optimale scenarioet tar utgangspunkt i en ”perfekt” politisk situasjon der alle verdens land går sammen om å redusere den mengde CO₂-utslipp som gir en effektiv løsning i økonomien og for klimaet over tid. Når en har en optimal miljøpolitikk vil marginalkostnaden ved å redusere fremtidig skade fra klimaendringer være lik den neddiskonterte marginal nytten.

Limit 2 degrees

Scenarioet *limt_2_deg* er en versjon av det optimale scenarioet. Forskjellen mellom de to er at det er lagt til en ekstra restriksjon som sier at temperaturen maksimalt kan stige 2°C over 1900-nivå.

Hotelling run

I Hotelling-scenarioet er det ingen klimaskader, slik at skadeparameterene ω_1 , ω_2 og $\omega_3 = 0$. I dette scenarioet vil derfor samfunnet, økonomien og miljøet være upåvirket ved CO₂-utslipp.

Base-25per

Scenarioet kalt *Base-25per* tar utgangspunkt i den mest sannsynlige utviklingsbanen til økonomien og klimaet, dersom det ikke innføres signifikante pålegg om reduksjon i CO₂-utslipp de neste 25 perioder, altså de neste 250 årene. Dette scenarioet er et ”Business As Usual”-scenario. Etter at det har gått 250 år, antas det at økonomien går over til optimal klimapolitikk. Kontrollraten, μ , er satt lik kontrollraten i Hotelling-scenarioet for de første 250 årene.

² Nordhaus har lagt ut GAMS-filer for alle scenarioene i DICE-modellen på følgende nettside: <http://nordhaus.econ.yale.edu/DICE2007.htm>.

Base-5per

Scenarioet *Base-5per* er bygd opp på samme måte som *Base-25per*, men med fem perioder.

Utsettelse av klimatiltak

Scenarioene for utsettelse av klimatiltak i 10 år, 20 år, 30 år, 40 år og 50 år er selvdefinerte og bygd opp på samme måte som Nordhaus sitt scenario *Base-5per*. I scenarioet med utsettelse av klimatiltak i 10 år, vil klimaskader først bli tatt hensyn til om 10 år, og så videre.

Utsettelse av klimatiltak, maks 2°C

Dette settet med scenarioer er også selvdefinerte, og er bygd opp på samme måte som scenarioene i forrige avsnitt. Forskjellen mellom dem er at det er lagt til en ekstra restriksjon som sier at temperaturen maksimalt kan stige 2°C over 1900-nivå.

En viktig forskjell mellom de selvdefinerte scenarioene og Nordhaus sitt *Base-5per*-scenario, er at Nordhaus kun setter utslippskontrollraten lik som i Hotelling-scenarioet i de periodene en utsetter klimatiltak, mens jeg i de selvdefinerte har gjort det samme også med investeringer. Denne endringen er gjort etter å ha sammenliknet de fem første periodene av *Base-5per*-scenarioet og Hotelling-scenarioet. Ettersom utslippskontrollraten i de fem første periodene i *Base-5per* er satt lik kontrollraten i Hotelling-scenarioet, for å vise at klimaskader ikke blir tatt hensyn til, burde utslippsnivået blitt likt i de to tilfellene. Det viser seg imidlertid at utslipp av CO₂ er forskjellig i denne perioden, tross lik kontroll av utslipp. Årsaken til dette er at investeringene er ulike i de to scenarioene. Det kan se ut til at investeringene i *Base-5per* er gjort på bakgrunn av en forventning om at myndighetene på et senere tidspunkt vil starte med klimatiltak, slik som kontroll av CO₂-utslipp. Dette gjør at investeringene ligger noe under investeringene i Hotelling-scenarioet.

For å oppsummere, fører ulike investeringer til ulikt utslipp av CO₂. Jeg ønsker å se på en situasjon der verden ikke tar hensyn til klimatrusselen, verken gjennom investeringer eller klimatiltak. I sammenlikningen av scenarioene vil jeg derfor ikke at det skal være en forventning om fremtidige klimatiltak når det tas investeringsbeslutninger. Dette løses ved å sette investeringer i *Base-5per* lik investeringer i Hotelling-scenarioet. Det er fremdeles noen variabler som blir forskjellige, for eksempel sosiale kostnader, sparerate, rente på investeringer, output og konsum, men forskjellene er små. Det er uklart for meg hvorfor disse blir forskjellige, ettersom kontrollraten, μ , og investeringer er de eneste kontrollvariablene i modellen. Jeg skal ikke gå nærmere inn på dette, da det viktigste for min analyse vil være at

utslippsnivået er likt i både Hotelling-scenarioet og scenarioene med klimautsettelse i den perioden utsettelsen varer.

Et eksempel på selvdefinerte kommandoer i GAMS finnes i Appendiks A.

4. Optimalt scenario

Det optimale scenarioet blir brukt som referansescenario gjennom oppgaven. I dette scenarioet tas det hensyn til både økonomisk vekst og at CO₂-utslipp gir miljøskaide. Når en kjører scenarioet i GAMS, får en dermed ut et sett av optimale verdier som varierer over tid, slik som for eksempel optimal karbonskatt, optimal temperatur og optimalt CO₂-utslipp. Disse verdiene viser DICE-07s beste samfunnsøkonomiske løsning for verden sett under ett. Noen viktige resultater fra denne kjøringen er vist i tabell 4.1:

Tabell 4.1: Optimale verdier for ulike variabler over tid.

Ulike variabler \ År	2005	2015	2025	2035	2045	2055	2105	2205
Periodevis produksjon i billioner ³ 2005 US \$	56	70	85	101	119	138	270	874
Konsum per capita i 1000 2005 US \$	6,6	7,7	8,8	10,2	11,7	13,3	25,1	80,4
Årlig utlipp fra industri i gigatonn karbon, GtC	7,4	7,4	8,2	8,8	9,4	9,9	11,3	0
Temperatur i °C over 1900-nivå	0,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,7	3,4
Karbonkonsentrasjon i atmosfæren i GtC	809	863	908	954	1001	1048	1270	1384
Karbonkonsentrasjon i atmosfæren i ppm ⁴	380	405	426	448	470	492	596	650
Karbonskatt ved utlipp av ett tonn karbon i 2005 US \$	+ 0	42	53	66	81	98	217	800
Utslippskontrollrate gitt som andel av ukontrollerte utlipp	0,005	0,159	0,19	0,21	0,24	0,27	0,44	1
Periodevis skade i % av produksjon	0,1 %	0,3 %	0,4 %	0,5 %	0,7 %	0,9 %	2,1 %	3,4 %
Periodevise reduksjonskonstader i billioner 2005 US \$	0	0,02	0,04	0,06	0,09	0,13	0,7	12,3

I det optimale scenarioet vil det være en generell velferdsøkning ved at konsum per capita er stigende. Det vil være optimalt med økte CO₂-utslipp fra industri til og med frem til år 2105. CO₂-utslippene synker så for hvert tiår, og fra år 2205 vil det være optimalt med null-utslipp av CO₂ fra industrien. Dette faller sammen med en utslippskontrollrate på 1.

Utslippskontrollraten, som angir hvor stor del av CO₂-utslipp fra industri som reduseres, er positiv allerede i første periode. Det vil si at det er optimalt å starte med klimatiltak som gir reduserte CO₂-utslipp allerede nå. Det vil være optimalt med en moderat reduksjon i første periode og ha en kraftig reduksjon på lang sikt. Om 200 år vil det være total utslippsstopp av

³ I litteraturen som omhandler DICE-modellen angis produksjonsverdien i amerikanske tallverdier, altså i trillions US \$. Jeg har oversatt til norsk, og bruker billioner US \$.

⁴ Ofte brukes volumbegrepet parts per million (ppm) ved beskrivelse av konsentrasjon av karbon i atmosfæren. 1 ppm CO₂=2.13 GtC (Carbon Dioxide Information Analysis Center, CDIAC)

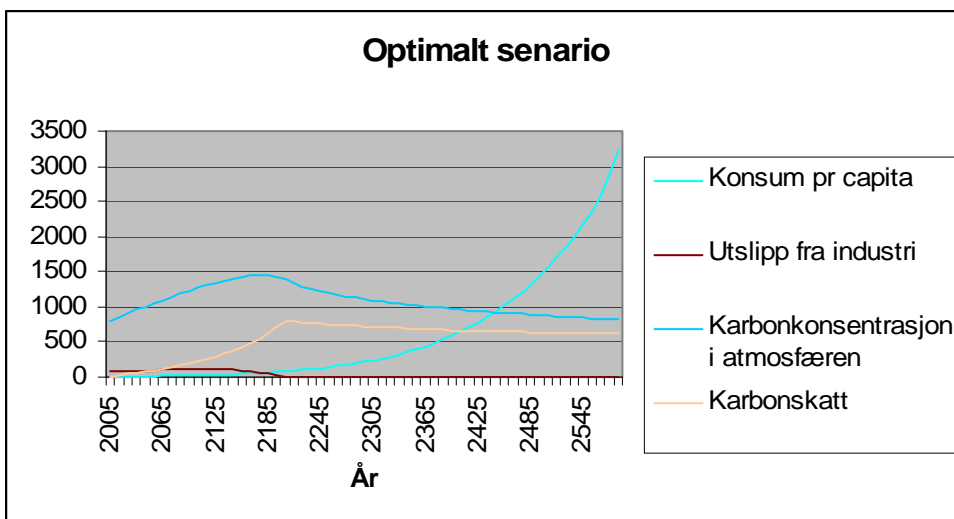
CO₂ fra industri, der alle produsenter har rensing av utslipp fra produksjon, eller har tatt i bruk ikke-karbonbasert energi.

Konsentrasjonen av karbon i atmosfæren vil stige fra 380 ppm i 2005 til 650 ppm i 2205. Den høyeste konsentrasjonen av karbon i atmosfæren er 680 ppm i år 2175, og vil så sakte avta til dagens nivå om 600 år. I det optimale scenarioet vil temperaturen stige til 3,4°C over 1900-nivå i 2205. Ifølge DICE-07 vil altså fordelene ved å la temperaturen stige over et temperaturmål på 2°C over 1900-nivå være større enn kostnadene forbundet med temperaturstigningen. Den høyeste temperaturen på 3,47°C over 1900-nivå nås i år 2195 og synker til under 2°C over 1900-nivå først i år 2515. Ut ifra disse tallene ser vi at temperaturstigningen vil skje i ti år etter at vi får null-utslipp av CO₂ fra industrien, og 20 år etter at konsentrasjonen av karbon i atmosfæren er på sitt høyeste.

Samtidig som karbonkonsentrasjon og temperatur stiger, vil også skatt på karbon stige. Dette kommer av at karbonskatten reflekterer skade på miljøet og samfunnet ellers. Slik skade øker ved økende konsentrasjon av karbon i atmosfæren og av høy temperatur.

Når en har en optimal miljøpolitikk vil marginalkostnaden ved å redusere fremtidig skade fra klimaendringer være lik den neddiskonterte marginal nytten. Årsaken til at det ikke er optimalt å redusere mer enn hva som kommer frem i dette scenarioet, er at den marginale reduksjonskostnaden da ville blitt større enn den neddiskontert nytten en hadde fått ved marginalt mindre utslipp.

Figur 4.1: Optimale baner i perioden 2005-2595.



Figur 4.1 viser optimal bane for ulike variabler i DICE-07 fra år 2005 og helt frem til til år 2595. Her ser en at karbonskatten vil øke relativt kraftig opp til 800 \$ i løpet av de første 200 årene, for så å synke noe til periodens slutt i år 2605. Den vil da holde seg på i overkant av 600 \$. Den stigende karbonskatten gjør at det ikke blir lønnsomt å slippe ut CO₂ fra industrien etter år 2205. Dette fører til at konsentrasjonen i atmosfæren sakte synker fra toppnivå på ca. 1450 GtC i år 2175 og ned til 815 GtC i 2595. Selv med høye skatter på karbon og null-utslipp av CO₂ fra industrien, vil konsum per capita øke kraftig hele perioden.

5. Resultater

I dette kapittelet vil jeg presentere resultatene jeg har funnet ved hjelp av kjøring av DICE-07 i GAMS. Først vil jeg imidlertid beskrive hvilken metode jeg har brukt for å sammenlikne noen av resultatene.

5.1. Metode for sammenlikning av resultater

Et generelt problem i modeller som maksimerer aggregert neddiskontert nytte er at det ikke er opplagt hvordan man skal sammenlikne nytteforbedring og nytteforverring. I DICE-modellen gir de ulike scenarioene ulik samlet neddiskontert nytte. Ved å sammenlikne ulike scenarioer kan en lett se om det ene gir høyere neddiskontert nytte enn det andre. Problemet oppstår når en skal presentere hvor mye høyere nytte det er snakk om. Vi kan tenke oss at vi har et scenario der nytten er 150 og et scenario der nytten er 250. Ved å sammenlikne disse ser vi lett at differansen er på 100. Men hva legges egentlig i dette? Hadde benevnelsen vært norske kroner eller annen valuta, ville dette tallet gitt oss et nyttig sammenlikningsgrunnlag. Uten en slik benevnelse blir tallet 100 lite nyttig. Nordhaus har valgt å løse dette problemet ved å bruke en type nytte-kostnadsanalyse når han skal presentere den økonomiske fordelingen av en klimapolitikk fremfor en annen.

En alternativ metode for å måle effekten av ulik klimapolitikk på aggregert velferd, er presentert av Aasheim, Fuglestvedt og Godal (2006). De tar utgangspunkt i en velferdsfunksjon:

$$21) \quad W = \int_{t=0}^T V(x_c(t), x_u(t)) e^{-\delta t} dt$$

Her er $V(x_c(t), x_u(t))$ nytten av konsum på tidspunkt t , der $x_u(t)$ er konsum av energi og $x_c(t)$ står for annet konsum, mens δ er den rene tidspreferanseraten. Anta at x_c^* og x_u^* er optimal løsning, med tilhørende velferd W^* . For å gi et mer intuitivt mål på hvor stor velferdseffekten er, sammenliknes så ulike alternativer ved å se på en ”konstant årlig konsumekvivalent”, \bar{x}_c , som defineres som

$$22) \quad W^* = \int_{t=1}^T V(\bar{x}_c, x_u^*(t)) e^{-\delta t} dt$$

Velferden W^* får en ved å konsumere optimalt nivå av $x_c^*(t)$ og $x_u^*(t)$. Den konstante årlige konsumekvivalenten, \bar{x}_c , er dermed et uttrykk for et konstant nivå av konsum over tid, som gir samme samlet nytte W^* .

Jeg vil benytte samme metode for å finne en konstant periodevis konsumekvivalent i DICE-modellen. Denne vil jeg kalle for \bar{C} . Velferdsfunksjonen i DICE er gitt som:

$$23) \quad W = \sum_{t=1}^{60} \left(\frac{10 \cdot RR(t) \cdot L(t) \cdot (\text{Periodu}(t))}{\text{scale1}} \right) + \text{scale2}$$

Ved å bruke definisjonen av $\text{Periodu}(t)$ i likning (1)⁵ får vi den konstante periodevise konsumekvivalenten, \bar{C} :

$$24) \quad \bar{C} = \frac{\sum_{t=1}^{60} 10 \cdot RR(t) \cdot L(t)^2}{\left((\text{scale2} - W) \cdot \text{scale1} + \sum_{t=1}^{60} 10 \cdot RR(t) \cdot L(t) \right)}$$

Dette er et uttrykk der kun \bar{C} er ukjent. Ved å bruke resultatene fra GAMS kan en regne ut \bar{C} for hvert scenario, og deretter sammenlikne for å se hvilken effekt for eksempel utsettelse av klimatiltak vil ha i forhold til optimal klimapolitikk. Jeg vil benytte meg av denne metoden når jeg presenterer resultatene.

5.2. Ulike resultater

Konstant periodevis konsumekvivalent

Den konstante periodevise konsumekvivalenten, \bar{C} , uttrykkes i milliarder 2005 US\$. I presentasjonen videre har jeg funnet den periodevise konstante konsumekvivalenten per

⁵ Se appendiks A for utledning av konstant årlig konsumekvivalent.

capita, slik at en lettere kan se effekten av ulike tiltak på hver enkeltes økonomi. For å finne \bar{C} per capita er \bar{C} delt på gjennomsnittlig populasjon over de 600 årene modellperioden varer. Resultatet for ulike scenarioer er gjengitt i tabell 5.1.

Tabell 5.1: Oversikt over konstant periodevis konsumekvivalent (\bar{C}) per capita, samt verdens tap forbundet med utsettelse av klimatiltak.

Kontroll av utslipp fra:	\bar{C} per capita i 2005 US \$	Differanse i \bar{C} per capita i forhold til optimalt scenario (maks 2°C) i 2005 US \$	Prosentvis forskjell i \bar{C} relativt til optimalt scenario (maks 2°C)	Nedgang i periodevis \bar{C} i milliarder 2005 US \$ relativt til optimalt scenario (maks 2°C)
2005 - Optimalt scenario	11683,8	0	0 %	0
2015	11683,8	-0,01	-0,00 %	0,06
2025	11682,4	-1,4	-0,01 %	12
2035	11680,8	-2,9	-0,03 %	25
2045	11679,3	-4,5	-0,04 %	38
2055	11677,7	-6,1	-0,05 %	52

Tabellen viser at det er relativt små forskjeller mellom scenarioene. Dersom en sammenlikner \bar{C} per capita i optimalt scenario med \bar{C} per capita i scenarioet med 50 års utsettelse av klimatiltak, vil forskjellen være rett i overkant av -6 \$ eller -0,05 % per ti års periode. Dette utgjør omtrent 52 milliarder 2005 US \$ i hver periode.

Konstant periodevis konsumekvivalent, maks 2°C over 1900-nivå

Noe større forskjell er det mellom optimalt scenario uten restriksjon på maksimalt 2°C temperaturstigning og optimalt scenario med en slik restriksjon. Fra tabell 5.2. ser vi at differansen vil da komme opp i ca. -29 \$ for hver periode, men dette utgjør likevel kun en nedgang på 0,25 %. Dette vil gi en nedgang i konstant periodevis konsumekvivalent på omtrent 247 milliarder 2005 US \$ i løpet av hver ti års periode.

Tabell 5.2: Oversikt over konstant periodevis konsumekvivalent (\bar{C}) per capita i optimalt scenario med og uten mål om maksimal temperaturstigning på 2°C over 1900-nivå, samt tap ved temperaturmål.

	\bar{C} per capita, uttrykt i 2005 US\$	Differanse i \bar{C} i forhold til optimalt scenario, uttrykt i \$	Prosentvis forskjell i \bar{C} relativt til optimalt scenario	Verdens periodevise tap i milliarder 2005 \$ relativt til optimalt scenario
Optimalt	11683,8	0	0 %	0
Optimalt, maks 2°C over 1900-nivå	11654,7	-29,1	-0,25 %	247

Dersom vi nå tar utgangspunkt i EUs mål om at temperaturen maksimalt skal øke med 2°C over førindustrielt nivå, bør vi også se på hva en utsettelse av klimatiltak vil ha å si på \bar{C} per capita i forhold til hva som er optimalt med en slikt temperaturmål. Resultatet for ulike scenarioer er gjengitt i tabell 5.3.

Tabell 5.3: Oversikt over konstant periodevis konsumekvivalent (\bar{C}) per capita dersom en har mål om maksimalt 2°C over 1900-nivå, samt verdens tap forbundet med utsettelse av klimatiltak.

Kontroll av utslipp fra:	\bar{C} per capita i 2005 US \$	Differanse i \bar{C} per capita i forhold til optimalt scenario (maks 2°C) i 2005 US \$	Prosentvis forskjell i \bar{C} relativt til optimalt scenario (maks 2°C)	Nedgang i periodevis \bar{C} i milliarder 2005 US \$ relativt til optimalt scenario (maks 2°C)
2005 - Optimalt scenario	11654,7	0	0 %	0
2015	11654,7	-0,02	-0,00 %	0,2
2025	11651,4	-3,4	-0,03 %	28
2035	11646,6	-8,1	-0,07 %	69
2045	11638,9	-15,8	-0,14 %	134
2055	11621,5	-33,2	-0,28 %	281

Tabell 5.3. viser at ulikhetene blir noe større enn for scenarioene der restriksjonen på 2°C ikke inngår. Det vil være svært liten forskjell om en starter klimatiltak i dag eller om ti år ifølge DICE-07. En slik utsettelse vil kun resultere i en nedgang på 0,02 \$ i \bar{C} per capita sammenliknet med den optimale tilfellet med restriksjon. Dersom en venter med klimatiltak

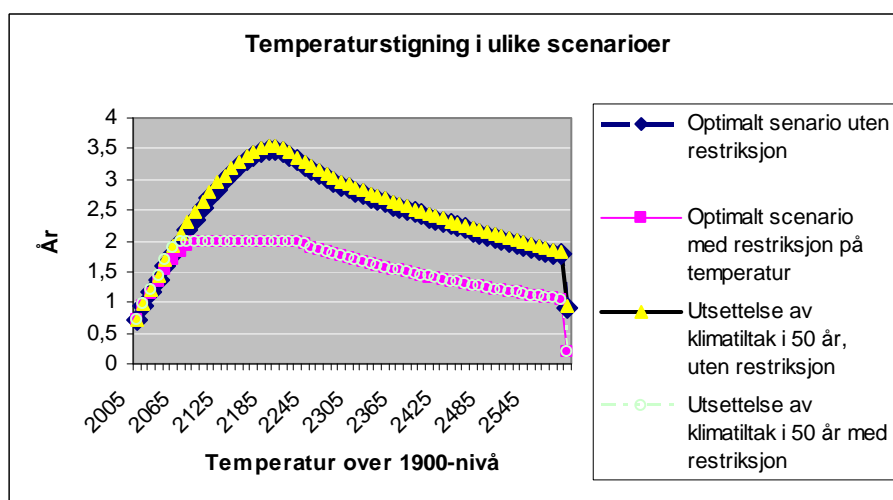
helt til 2055, ser vi at nedgangen i \bar{C} per capita kommer på 33,2 \$. Dette utgjør en 0,28 % nedgang. Regnes dette om til verdens samlede tap i \bar{C} , vil en 50 års utsettelse av klimatiltak utgjøre rundt 281 milliarder 2005 US \$ i løpet av hver periode på ti år.

Temperatur

Ettersom økt konsentrasjon av karbon i atmosfæren gir økt temperatur, vil det være interessant å se på hvor stor effekt en utsettelse av klimatiltak vil ha på den globale gjennomsnittstemperaturen ifølge DICE-07. I det optimale scenarioet vil temperaturbanen bevege seg opp til ca 3,5°C over 1900-nivå før den synker igjen. Sammenliknet med scenarioet med 50 års klimautsettelse, vil temperaturenforskjellene være små. I 2055 vil forskjellen være 0,14°C og om 100 år har forskjellen sunket til 0,12°C. En oversikt over temperaturverdiene er gitt i tabell C.1. i Appendiks C.

Dersom vi ser på en situasjon der verden er enig om en maksimal temperaturstigning på 2°C over 1900-nivå, vil det være optimalt å nå en slik maksimal stigning i 2095 og la temperaturen være på dette nivået frem til og med 2205. I sammenlikning med scenarioet med klimautsettelse i 50 år der en har en slik restriksjon på temperatur, vil temperaturen nå 2°C over 1900-nivå i 2075, altså 20 år tidligere. Figur 5.1. viser temperaturbanen for optimalt scenario med og uten restriksjon på grader, samt scenarioer for utsettelse av klimatiltak i 50 år med og uten restriksjon.

Figur 5.1: Oversikt over temperaturbane for optimalt scenario med og uten restriksjon på maksimal temperaturstigning på 2°C over 1900-nivå, samt scenarioer for utsettelse av klimatiltak i 50 år med og uten en slik restriksjon.



Figur 5.1. viser at det er mulig å holde seg til maksimalt 2°C økning over 1900-nivå, selv om en utsetter klimatiltak i 50 år. Den viser også at det er restriksjonen på maksimalt 2°C økning over 1900-nivå som gir det store utslaget i utviklingsbanen for temperatur. Uten en slik restriksjon er det optimalt å la temperaturen øke til omtrent 3,5°C.

Tabell 5.4: Oversikt over utslipp fra industri i GtC i ulike scenario med maksimal temperaturstigning på 2°C over 1900-nivå.

		Utslipp i år:						
		2015	2025	2035	2045	2055	2105	2205
Kontroll av utslipp fra:	2005 - Optimalt	69	73	75	73	67	16	16
	2015	69	73	75	73	67	16	16
	2025	88	73	74	72	65	20	16
	2035	88	100	72	69	61	24	19
	2045	88	100	112	62	51	19	16
	2055	88	100	112	124	25	16	16

Sett i lys av den pågående samfunnsdebatten om global oppvarmning, er det noe overraskende at det skal være mulig å utsette klimatiltak i 50 år og likevel nå temperaturmålet på maksimalt 2°C økning over 1900-nivå. I den sammenheng vil det være interessant å se på hva som skjer med utslipp fra industrien. En oversikt over utslippstall i scenarioer med maksimal temperaturstigning på 2°C over 1900-nivå er gitt i tabell 5.4.

Fra figur 5.1 så vi at temperaturen nådde 2°C over 1900-nivå i 2095 i optimalt scenario med restriksjon på maksimal temperaturstigning. Dersom en utsetter klimatiltak i 50 år vil denne maksimumstemperaturen nås allerede i 2075. Tabell 5.4 viser at det vil være nødvendig med kraftige kutt i utslipp fra industrien dersom en skal klare å nå målet etter å ha utsatt klimatiltak i 50 år. Kuttet i utslipp fra 2045 til 2055 er på hele 80 %. Hva som er årsaken til et så kraftig kutt vil jeg komme nærmere inn på i neste avsnitt.

Karbonskatt

Nivået på karbonskatten vil bli påvirket av et strengt temperaturmål, slik som målet på maksimalt 2°C over 1900-nivå. Intuisjonen bak dette er at temperaturen vil stige med økte utslipp av CO₂ til atmosfæren. For å holde temperaturen innenfor målet, må en derfor sørge

for at industrien slipper ut mindre CO₂. Dette kan myndighetene få til ved å sette opp avgiften på hvert tonn karbon som slippes ut. Da øker den marginale produksjonskostnaden til bedriftene, slik at det optimale produksjonsnivået og utslippsnivået senkes. En annen mulighet er å utvikle mindre karbonintensiv teknologi eller renseteknologi, som gir mindre CO₂-utslipp. I DICE-07 er imidlertid karbonskatten det direkte virkemiddelet som brukes for å dempe produksjon (Nordhaus, 2007). Karbonskatten skal reflektere skaden utslipp av karbon gjør på miljøet, samt den sosiale kostnaden ved utslipp av ett ekstra tonn karbon.

Tabell 5.5: Oversikt over karbonskatt per tonn karbonutslipp i US 2005 \$ i optimalt scenario, sammenliknet med optimalt scenario med 2°C restriksjon. Tallene er rundet av til hele tall.

	Karbonskatt i år:						
	2015	2025	2035	2045	2055	2105	2205
1. Optimalt scenario	\$ 42	\$ 53	\$ 66	\$ 81	\$ 98	\$ 217	\$ 800
2. Optimalt scenario, maks 2° C	\$ 72	\$ 102	\$ 146	\$ 210	\$ 303	\$ 807	\$ 746
Differanse	\$ 30	\$ 49	\$ 80	\$ 129	\$ 205	\$ 590	\$ -54

Tabell 5.5 viser at karbonskatten må øke betraktelig i forhold til optimalt tilfelle for å oppnå en temperatur på maksimalt 2°C over 1900-nivå. Om 50 år vil karbonskatten ligge på over 200 US \$ mer enn det optimale tilfellet uten et temperaturmål. Om 100 år har denne forskjellen økt til 590 \$. Den høye karbonskatten de første 100 årene vil føre til at produksjonen er mye mindre i optimalt scenario med temperaturmål, sammenliknet med optimalt scenario uten et slikt mål. Av dette følger det at både karbonkonsentrasjon i atmosfæren og temperatur vil være mindre i tilfellet der en skal holde seg under 2°C over 1900-nivå. I år 2205 vil dette vise igjen på karbonskatten i de to ulike scenarioene, ettersom den marginale skaden av CO₂-utslipp er mindre når temperaturen er lav. Da ser vi at karbonskatten vil være 54 \$ mindre for optimalt scenario med temperaturmål, sammenliknet med optimalt scenario uten et slikt mål.

Tabell 5.6 viser en oversikt over karbonskatt for optimalt scenario uten restriksjon på antall grader, samt for scenarioer der det er klimautsettelse i 10 til 50 år.

Tabell 5.6: Oversikt over karbonskatt i US 2005 \$ per tonn i optimalt scenario og scenarioer med utsettelse av klimatiltak. Tallene er rundet av til hele tall.

		Karbonskatt i år:						
		2015	2025	2035	2045	2055	2105	2205
Kontroll av utslipp fra:	2005 - Optimalt	42	53	66	81	98	217	800
	2015	42	53	67	81	98	217	800
	2025	+ 0	54	67	82	98	217	800
	2035	+ 0	+ 0	67	82	99	218	800
	2045	+ 0	+ 0	+ 0	83	99	218	800
	2055	+ 0	+ 0	+ 0	+ 0	100	218	800

Det viser seg at karbonskatten om 50 år kun vil være 2 \$ høyere dersom en utsetter klimatiltak i 50 år, sammenliknet med optimalt scenario der en starter klimatiltak fra første periode. Forskjellen minsker til 1 \$ om 100 år og er tilnærmet like i år 2205.

Tabell 5.7 viser en oversikt over karbonskatt for optimalt scenario med temperaturrestriksjon på maksimalt 2°C over 1900-nivå, samt for scenarioene med temperaturmål der en utsetter klimatiltak i 10 til 50 år. Det vil være tilnærmet ingen karbonskatt i de periodene hvor det er klimautsettelse. Det vil med andre ord ikke bli kompensert for de sosiale kostnader og klimaskader som CO₂-utslipp fører med seg.

Tabell 5.7: Oversikt over karbonskatt i US 2005 \$ i optimalt scenario med 2°C restriksjon sammenliknet med scenarioer med utsettelse av klimatiltak. Tallene er rundet av til hele tall.

		Karbonskatt i år:						
		2015	2025	2035	2045	2055	2105	2205
Kontroll av utslipp fra:	2005 - Optimalt	72	102	146	210	303	807	746
	2015	72	102	146	210	303	807	746
	2025	+ 0	108	154	223	323	778	749
	2035	+ 0	+ 0	169	244	355	751	737

7B5.							Resultat
2045	+ 0	+ 0	+ 0	304	442	783	749
2055	+ 0	+ 0	+ 0	+ 0	723	811	749

Tabellen viser at utsettelse av klimatiltak i ti år vil ha tilnærmet ingen effekt på karbonskatten relativt til det optimale scenarioet med restriksjon på maksimum 2°C over 1900-nivå.

Forskjellene kommer til syne først etter 20 år med klimautsettelse. Dersom en utsetter tiltak i 50 år, vil en måtte betale for dette med en karbonskatt som ligger på 723 2005 US \$ i 2055.

Det er en slik skatt som gir 80 % utslippsreduksjon mellom 2045 og 2055. Selv om det ifølge DICE-modellen vil være mulig å nå utslippsmålet på maksimum 2°C over 1900-nivå på denne måten, kan det virke urealistisk å oppnå 80 % kutt i utslipp på ti år. I GAMS ser det ut til at målet på maksimum 2°C over 1900-nivå alltid vil nås, ettersom det ikke ligger inne en restriksjon på hva som er politisk gjennomførbart. Dette er en viktig begrensning å merke.

For å gi et bilde på hva en endring i karbonskatten vil ha å si for en vanlig forbruker, kan vi se på hvordan dette påvirker avgiften på bensin. Regjeringen har foreslått at CO₂-avgiften for 2008 skal være 354 kr pr tonn, noe som tilsvarer 0,82 kr/liter bensin (Finansdepartementet, 2007). For å regne om karbonskatten til norske kroner brukes en vekslingskurs slik at 1 USD tilsvarer 5,01 NOK ⁶. Resultatet for scenarioene uten temperaturrestriksjon vises i tabell 5.8:

Tabell 5.8: Oversikt over bensinavgift per liter i NOK i scenario uten temperaturmål over tid.

		Bensinavgift per liter i NOK i år:						
		2015	2025	2035	2045	2055	2105	2205
Kontroll av utslipp fra:	2005 - Optimalt	0,13	0,17	0,21	0,26	0,31	0,69	2,54
	2015	0,13	0,17	0,21	0,26	0,31	0,69	2,54
	2025	0	0,17	0,21	0,26	0,31	0,69	2,54
	2035	0	0	0,21	0,26	0,31	0,69	2,54
	2045	0	0	0	0,26	0,31	0,69	2,54
	2055	0	0	0	0	0,32	0,69	2,54

⁶ Vekslingskurs pr. 15.04.08.

Fra tabell 5.8. kan vi se at avgiftene på bensin vil påvirkes lite ved endring i karbonskatten. For eksempel vil en karbonskatt på 800 2005 US \$ om 200 år tilsvare en bensinavgift på 2,54 kr per liter.

Tabell 5.9. viser tilsvarende resultater for scenarioene med restriksjon på temperatur. Også her ser vi at avgiftene per liter bensin er lave gitt ulike karbonavgifter. Dersom klimatiltak starter allerede i første periode, vil avgiften være 0,96 kr per liter i 2055, mot 2,29 kr dersom vi venter med klimatiltak i 50 år.

Tabell 5.9: Oversikt over bensinpris i NOK i scenario med maksimal temperaturstigning på 2°C over 1900-nivå.

		Bensinavgift per liter i NOK i år:						
		2015	2025	2035	2045	2055	2105	2205
Kontroll av utslipp fra:	2005 - Optimalt	0,23	0,32	0,46	0,67	0,96	2,56	2,37
	2015	0,23	0,32	0,46	0,67	0,96	2,56	2,37
	2025	0	0,34	0,49	0,71	1,02	2,47	2,37
	2035	0	0	0,54	0,77	1,13	2,38	2,34
	2045	0	0	0	0,96	1,40	2,48	2,37
	2055	0	0	0	0	2,29	2,57	2,37

6. Konklusjon og oppsummering av de viktigste resultatene

Ved å sammenlikne de periodevise konstante konsumekvivalentene (\bar{C}), som er et uttrykk for et konstant nivå av konsum over tid, viser jeg at det vil være små kostnader forbundet med utsettelse av klimatiltak i 10 til 50 år. Dersom en ikke har et temperaturmål, vil en utsettelse av klimatiltak i 50 år kun gi en nedgang på 6 \$ i \bar{C} per capita i hver periode i forhold til optimalt scenario der klimatiltak iverksettes fra første periode. For en slik utsettelse må verden redusere konsumet med 52 milliarder 2005 US \$ i hver periode, som utgjør omtrent 0,05 % av verdens \bar{C} . Ved å inkludere en restriksjon på maksimal temperaturstigning på 2°C over 1900-nivå, vil det redusere \bar{C} per capita med 29 \$ for hver ti års periode ved optimering av modellen, i forhold til optimering uten temperaturrestriksjon. Dette betyr at det ifølge DICE-modellen er en nytteforverring forbundet med å ha et temperaturmål på maksimalt 2°C over 1900-nivå. For å nå et slikt mål, må verden betale for dette ved å redusere konsumet i hver periode med 247 milliarder 2005 US \$. Dette utgjør likevel kun 0,25 % av \bar{C} i optimalt scenario uten restriksjon på temperaturstigning.

Den største nedgangen i \bar{C} per capita får vi dersom klimatiltak utsettes 50 år, samtidig som en kun skal ha en temperaturstigning på maksimalt 2°C over 1900-nivå. Da vil nedgangen være på omtrent 33 \$ i \bar{C} per capita i hver periode, sammenliknet med optimalt scenario uten temperaturmål. Dette utgjør likevel kun en nedgang på 0,28 %, eller 281 milliarder 2005 US \$ fordelt på hele verden over ti år.

Den gjennomsnittlige overflatetemperaturen vil i optimalt scenario stige til ca. 3,5 °C over 1900-nivå. Dersom vi utsetter klimatiltak i 50 år vil forskjellen på det meste være ca. 0,14 °C. Dette kan se ut som en liten endring, men en må huske på at dette kan bety at en nærmer seg et kritisk nivå i forhold til irreversible klimaendringer. I tilfellet der vi har med et temperaturmål på maksimalt 2°C over 1900-nivå, vil dette målet ifølge DICE-modellen være mulig å oppnå, selv ved lange utsettelse av tiltak.

Temperaturmålet på maksimalt 2°C over 1900-nivå vil imidlertid ha stor effekt på karbonskatt og utslipp av CO₂. For at målet kan nås, må myndighetene sette opp avgiftssatsen kraftig på hvert tonn karbon som slippes ut, slik at industrien slipper ut mindre CO₂. Dersom klimatiltak utsettes i 50 år, vil karbonskatten komme opp i 723 2005 US\$ per tonn i år 2055. En slik

6. Konklusjon og oppsummering av de viktigste resultatene
karbonskatt vil føre til at industrien kutter hele 80 % av CO₂-utslippene fra år 2045 til år 2055. Selv om det ifølge DICE-modellen vil være mulig å nå utslippsmålet på maksimum 2°C over 1900-nivå på denne måten, kan det virke urealistisk å oppnå 80 % kutt i utslipp på ti år. Det er en generell begrensning i DICE at det ikke tas hensyn til hva som er politisk gjennomførbart. Dette bør tas med i en politisk vurdering om hvor lenge det vil være forsvarlig å utsette klimatiltak.

Det er også viktig å huske på at det er knyttet stor usikkerhet til utviklingen av klima og modeller som forsøker å fange opp denne utviklingen når en tolker resultatene. Scenarioene og resultatene i DICE-2007 kan likevel hjelpe oss til at vi ser for oss hvordan utviklingen av klimaet og økonomien *kan* komme til å utarte seg, og kan dermed bidra med at vi tar grep for å unngå uønsket eventuell utvikling.

Presterud og Kallbekken (2007) tar utgangspunkt i en temperaturrestriksjon på 3°C. For å nå dette i 2100 må vi kutte de globale utslippene med én prosent i året. De trekker frem at dette er et ambisiøst reduksjonsmål. Ved en utsettelse av utslippsreduksjon i 20 år, har de regnet ut at reduksjonen må økes til omtrent 5 % i året for å nå temperaturmålet i 2100. Dette mener de at vanskelig lar seg gjøre på grunn av politiske begrensninger. De argumenterer derfor for at utslippsreduksjon må starte i dag.

Resultatene i DICE viser at for å nå FNs temperaturmål må CO₂-utslippene ned. Den mest effektive måten å få til dette på er å bruke markedet. Myndighetene må sette riktig pris på utslipp av karbon, slik at den reflekterer skaden utslippet gir på miljøet og økonomien. Gitt dagens situasjon, betyr dette at myndighetene må øke karbonskatten eller fjerne utslippskvoter fra kvotemarkedet. Konsumenter og produsenter vil da få et insentiv til å endre bruken av energi i produksjon, enten ved å produsere mindre eller ved å utvikle mindre karbonintensiv teknologi (Nordhaus, 2007).

Appendiks A – DICE-modellen i GAMS

Her er en fullstendig oversikt over hvordan DICE-07 er programmert i GAMS. Disse kommandoene, samt definisjonsfilene for de ulike scenarioene, ligger tilgjengelige for allmennheten på William Nordhaus sin hjemmeside:

<http://nordhaus.econ.yale.edu/DICE2007.htm>.

Under modellen har jeg kommet med et eksempel på hvordan jeg har definert enge scenarioer med utsettelse av klimatiltak.

\$ontext

changes to test the stern run

DICE delta version 8

July 17, 2008

This is for the revised model with climate and emissions modules changed.

This version is used for the 2007 book.

\$offtext

SETS T Time periods /1*60/ ;

SCALARS

** Preferences

B_ELASMU Elasticity of marginal utility of consumption / 2.0 /

B_PRSTP Initial rate of social time preference per year / .015 /

** Population and technology

POP0 2005 world population millions /6514 /

GPOP0 Growth rate of population per decade / .35 /

POPASYM Asymptotic population / 8600 /

A0 Initial level of total factor productivity / .02722 /

GA0 Initial growth rate for technology per decade / .092 /

DELA Decline rate of technol change per decade / .001 /

DK Depreciation rate on capital per year / .100 /

Appendiks A – DICE-modellen i GAMS

GAMA	Capital elasticity in production function	/.300 /
Q0	2005 world gross output trill 2005 US dollars	/61.1 /
K0	2005 value capital trill 2005 US dollars	/137. /
** Emissions		
SIG0	CO2-equivalent emissions-GNP ratio 2005	/.13418 /
GSIGMA	Initial growth of sigma per decade	/-.0730 /
DSIG	Decline rate of decarbonization per decade	/.003 /
DSIG2	Quadratic term in decarbonization	/.000 /
ELAND0	Carbon emissions from land 2005(GtC per decade)	/11.000 /
** Carbon cycle		
MAT2000	Concentration in atmosphere 2005 (GtC)	/808.9 /
MU2000	Concentration in upper strata 2005 (GtC)	/1255 /
ML2000	Concentration in lower strata 2005 (GtC)	/18365 /
b11	Carbon cycle transition matrix	/0.810712 /
b12	Carbon cycle transition matrix	/0.189288 /
b21	Carbon cycle transition matrix	/0.097213 /
b22	Carbon cycle transition matrix	/0.852787 /
b23	Carbon cycle transition matrix	/0.05 /
b32	Carbon cycle transition matrix	/0.003119 /
b33	Carbon cycle transition matrix	/0.996881 /
** Climate model		
T2XCO2	Equilibrium temp impact of CO2 doubling oC	/3 /
FEX0	Estimate of 2000 forcings of non-CO2 GHG	/-.06 /
FEX1	Estimate of 2100 forcings of non-CO2 GHG	/0.30 /
TOCEAN0	2000 lower strat. temp change (C) from 1900	/.0068 /
TATM0	2000 atmospheric temp change (C)from 1900	/.7307 /
C1	Climate-equation coefficient for upper level	/.220 /
C3	Transfer coeffic upper to lower stratum	/.300 /
C4	Transfer coeffic for lower level	/.050 /
FCO22X	Estimated forcings of equilibrium co2 doubling	/3.8 /

** Climate damage parameters calibrated for quadratic at 2.5 C for 2105

Appendiks A – DICE-modellen i GAMS

A1	Damage intercept	/ 0.00000 /
A2	Damage quadratic term	/ 0.0028388 /
A3	Damage exponent	/ 2.00 /

** Abatement cost

EXPCOST2	Exponent of control cost function	/2.8 /
PBACK	Cost of backstop 2005 000\$ per tC 2005	/1.17 /
BACKRAT	Ratio initial to final backstop cost	/ 2 /
GBACK	Initial cost decline backstop pc per decade	/.05 /
LIMMIU	Upper limit on control rate	/ 1 /

** Participation

PARTFRACT1	Fraction of emissions under control regime 2005	/1 /
PARTFRACT2	Fraction of emissions under control regime 2015	/1 /
PARTFRACT21	Fraction of emissions under control regime 2205	/1 /
DPARTFRACT	Decline rate of participation	/0 /

** Availability of fossil fuels

FOSSLIM	Maximum cumulative extraction fossil fuels	/ 6000 /
---------	--	----------

** Scaling and inessential parameters

scale1	Scaling coefficient in the objective function	/194 /
scale2	Scaling coefficient in the objective function	/381800 / ;

* Definitions for outputs of no economic interest

SETS

TFIRST(T)

TLAST(T)

TEARLY(T)

TLATE(T);

PARAMETERS

L(T) Level of population and labor

AL(T) Level of total factor productivity

SIGMA(T) CO2-equivalent-emissions output ratio

R(T)	Instantaneous rate of social time preference
RR(T)	Average utility social discount rate
GA(T)	Growth rate of productivity from 0 to T
FORCOTH(T)	Exogenous forcing for other greenhouse gases
GL(T)	Growth rate of labor 0 to T
GCOST1	Growth of cost factor
GSIG(T)	Cumulative improvement of energy efficiency
ETREE(T)	Emissions from deforestation
COST1(t)	Adjusted cost for backstop
PARTFRACT(T)	Fraction of emissions in control regime
AA1	Variable A1
AA2	Variable A2
AA3	Variable A3
ELASMU	Variable elasticity of marginal utility of consumption
PRSTP	Variable initial rate of social time preference per year
LAM	Climate model parameter
Gfacpop(T)	Growth factor population ;

PARAMETERS

L(T)	Level of population and labor
AL(T)	Level of total factor productivity
SIGMA(T)	CO2-equivalent-emissions output ratio
RR(T)	Average utility social discount factor
GA(T)	Growth rate of productivity from 0 to T
FORCOTH(T)	Exogenous forcing for other greenhouse gases
GL(T)	Growth rate of labor 0 to T
GCOST1	Growth of cost factor
GSIG(T)	Cumulative improvement of energy efficiency
ETREE(T)	Emissions from deforestation
COST1(t)	Adjusted cost for backstop
PARTFRACT(T)	Fraction of emissions in control regime
AA1	Variable A1
AA2	Variable A2
AA3	Variable A3
ELASMU	Variable elasticity of marginal utility of consumption

PRSTP	Variable initial rate of social time preference per year
LAM	Climate model parameter
Gfacpop(T)	Growth factor population ;

* Unimportant definitions to reset runs

TFIRST(T) = YES\$(ORD(T) EQ 1);

TLAST(T) = YES\$(ORD(T) EQ CARD(T));

TEARLY(T) = YES\$(ORD(T) LE 20);

TLATE(T) = YES\$(ORD(T) GE 21);

AA1 = A1;

AA2 = A2;

AA3 = A3;

ELASMU = B_ELASMU;

PRSTP = B_PRSTP;

b11 = 1 - b12;

b21 = 587.473*B12/1143.894;

b22 = 1 - b21 - b23;

b32 = 1143.894*b23/18340;

b33 = 1 - b32 ;

* Important parameters for the model

LAM = FCO22X/ T2XCO2;

Gfacpop(T) = (exp(gpop0*(ORD(T)-1))-1)/exp(gpop0*(ORD(T)-1));

L(T)=POP0* (1- Gfacpop(T))+Gfacpop(T)*popasym;

ga(T)=ga0*EXP(-dela*10*(ORD(T)-1));

al("1") = a0;

LOOP(T, al(T+1)=al(T)/((1-ga(T))));

gsig(T)=gsigma*EXP(-dsig*10*(ORD(T)-1)-dsig2*10*((ord(t)-

1)**2));sigma("1")=sig0;LOOP(T,sigma(T+1)=(sigma(T)/((1-gsig(T+1)))));

cost1(T) = (PBACK*SIGMA(T)/EXPCOST2)* ((BACKRAT-1+ EXP (-gback* (ORD(T)-1)))/BACKRAT);

ETREE(T) = ELAND0*(1-0.1)**(ord(T)-1);

RR(t)=1/((1+prstp)**(10*(ord(T)-1)));

FORCOTH(T)= FEX0+ .1*(FEX1-FEX0)*(ORD(T)-1)\$ (ORD(T) LT 12)+ 0.36\$(ORD(T)
GE 12);

partfract(t) = partfract21;

PARTFRACT(T)\$ (ord(T)<25) = Partfract21 + (PARTFRACT2-Partfract21)*exp(-
DPARTFRACT*(ORD(T)-2));

partfract("1")= PARTFRACT1;

VARIABLES

MIU(T)	Emission control rate GHGs
FORC(T)	Radiative forcing in watts per m2
TATM(T)	Temperature of atmosphere in degrees C
TOCEAN(T)	Temperatureof lower oceans degrees C
MAT(T)	Carbon concentration in atmosphere GtC
MATAV(T)	Average concentrations
MU(T)	Carbon concentration in shallow oceans Gtc
ML(T)	Carbon concentration in lower oceans GtC
E(T)	CO2-equivalent emissions GtC
C(T)	Consumption trillions US dollars
K(T)	Capital stock trillions US dollars
CPC(T)	Per capita consumption thousands US dollars
PCY(t)	Per capita income thousands US dollars
I(T)	Investment trillions US dollars
S(T)	Gross savings rate as fraction of gross world product
RI(T)	Real interest rate per annum
Y(T)	Gross world product net of abatement and damages
YGROSS(T)	Gross world product GROSS of abatement and damages
YNET(T)	Output net of damages equation
DAMAGES(T)	Damages
ABATECOST(T)	Cost of emissions reductions
CCA(T)	Cumulative industrial carbon emissions GTC
PERIODU(t)	One period utility function
UTILITY;	

POSITIVE VARIABLES MIU, TATM, TOCE, E, MAT, MATAV, MU, ML, Y, YGROSS,
C, K, I, CCA ;

EQUATIONS

CCTFIRST(T)	First period cumulative carbon
CCACCA(T)	Cumulative carbon emissions
UTIL	Objective function
YY(T)	Output net equation
YNETEQ(T)	Output net of damages equation
YGROSSEQ(T)	Output gross equation
DAMEQ(T)	Damage equation
ABATEEQ(T)	Cost of emissions reductions equation
CC(T)	Consumption equation
KK(T)	Capital balance equation
KK0(T)	Initial condition for capital
KC(T)	Terminal condition for capital
CPCE(t)	Per capita consumption definition
PCYE(T)	Per capita income definition
EE(T)	Emissions equation
SEQ(T)	Savings rate equation
RIEQ(T)	Interest rate equation
FORCE(T)	Radiative forcing equation
MMAT0(T)	Starting atmospheric concentration
MMAT(T)	Atmospheric concentration equation
MMATAVEQ(t)	Average concentrations equation
MMU0(T)	Initial shallow ocean concentration
MMU(T)	Shallow ocean concentration
MML0(T)	Initial lower ocean concentration
MML(T)	Lower ocean concentration
TATMEQ(T)	Temperature-climate equation for atmosphere
TATM0EQ(T)	Initial condition for atmospheric temperature
TOCEANEQ(T)	Temperature-climate equation for lower oceans
TOCEAN0EQ(T)	Initial condition for lower ocean temperature
PERIODUEQ(t)	Instantaneous utility function equation ;

** Equations of the model

CCTFIRST(TFIRST)..	CCA(TFIRST)=E=0;
CCACCA(T+1)..	CCA(T+1)=E=CCA(T)+ E(T);
KK(T)..	K(T+1) =L= (1-DK)**10 *K(T)+10*I(T);
KK0(TFIRST)..	K(TFIRST) =E= K0;
KC(TLAST)..	.02*K(TLAST) =L= I(TLAST);
EE(T)..	E(T)=E=10*SIGMA(T)*(1-MIU(T))*AL(T)*L(T)** (1-GAMA)*K(T)**GAMA + ETREE(T);
FORCE(T)..	FORC(T) =E= FCO22X*((log((Matav(T)+.000001) /596.4)/log(2)))+FORCOTH(T);
MMAT0(TFIRST)..	MAT(TFIRST) =E= MAT2000;
MMU0(TFIRST)..	MU(TFIRST) =E= MU2000;
MML0(TFIRST)..	ML(TFIRST) =E= ML2000;
MMAT(T+1)..	MAT(T+1) =E= MAT(T)*b11+MU(T)*b21 + E(T);
MMATAVEQ(t)..	MATAV(T) =e= (MAT(T)+MAT(T+1))/2 ;
MML(T+1)..	ML(T+1) =E= ML(T)*b33+b23*MU(T);
MMU(T+1)..	MU(T+1) =E= MAT(T)*b12+MU(T)*b22+ML(T)*b32;
TATM0EQ(TFIRST)..	TATM(TFIRST) =E= TATM0;
TATMEQ(T+1)..	TATM(T+1) =E= TATM(t)+C1*(FORC(t+1)-LAM*TATM(t)- C3*(TATM(t)-TOCEAN(t)));
TOCEAN0EQ(TFIRST)..	TOCEAN(TFIRST) =E= TOCEAN0;
TOCEANEQ(T+1)..	TOCEAN(T+1) =E= TOCEAN(T)+C4*(TATM(T)- TOCEAN(T));
YGROSSEQ(T)..	YGROSS(T) =e= AL(T)*L(T)**(1-GAMA)*K(T)**GAMA;
DAMEQ(T)..	DAMAGES(t) =E= YGROSS(T)-YGROSS(T) /(1+aa1*TATM(T)+ aa2*TATM(T)**aa3);
YNETEQ(T)..	YNET(T) =E= YGROSS(T)/(1+aa1*TATM(T)+ aa2*TATM(T)**aa3);
ABATEEQ(T)..	ABATECOST(T) =E= (PARTFRACT(T)**(1-expcost2)) *YGROSS(T)*(cost1(t)*(MIU(T)**EXPcost2));
YY(T)..	Y(T) =E= YGROSS(T)*((1-(PARTFRACT(T)**(1-expcost2)) *cost1(t)*(MIU(T)**EXPcost2)))/(1+aa1*TATM(T) + aa2*TATM(T)**aa3);
SEQ(T)..	S(T) =E= I(T)/(.001+Y(T));
RIEQ(T)..	RI(T) =E= GAMA*Y(T)/K(T)- (1-(1-DK)**10)/10 ;

$CC(T).. \quad C(T) = E = Y(T) - I(T);$
 $CPCE(T).. \quad CPC(T) = E = C(T) * 1000 / L(T);$
 $PCYE(T).. \quad PCY(T) = E = Y(T) * 1000 / L(T);$
 $PERIODUEQ(T).. \quad PERIODU(T) = E = ((C(T) / L(T))^{**}(1 - ELASMU) - 1) / (1 - ELASMU);$
 $UTIL.. \quad UTILITY = E = SUM(T, 10 * RR(T) * L(T) * (PERIODU(T)) / scale1) + scale2 ;$

** Upper and Lower Bounds: General conditions for stability

$K.lo(T) \quad = 100;$
 $MAT.lo(T) \quad = 10;$
 $MU.lo(t) \quad = 100;$
 $ML.lo(t) \quad = 1000;$
 $C.lo(T) \quad = 20;$
 $TOCEAN.up(T) \quad = 20;$
 $TOCEAN.lo(T) \quad = -1;$
 $TATM.up(t) \quad = 20;$
 $miu.up(t) \quad = LIMMIU;$
 $partfract("1") \quad = 0.25372;$

* First period predetermined by Kyoto Protocol

$miu.fx("1") \quad = 0.005;$

** Fix savings assumption for standardization if needed

$*s.fx(t) \quad = .22;$

** Cumulative limits on carbon use at 6000 GtC

$CCA.up(T) \quad = FOSSLIM;$

** Solution options

$option iterlim = 99900;$

$option reslim = 99999;$

$option solprint = on;$

$option limrow = 0;$

```
option limcol = 0;
```

```
model CO2 /all/;
```

```
* Optimal run
```

```
$include def_opt.gms
```

```
$include def_reset.gms
```

```
* Estimate of geoengineering
```

```
$include def_geoeng.gms
```

```
$include def_reset.gms
```

```
* Estimate Hotelling rents
```

```
$ include def_hotel.gms
```

```
$include def_reset.gms
```

```
* Base-5per defined as 50 years of no action with miu at Hotelling control rates
```

```
$include def_base_5per.gms
```

```
$include def_reset.gms
```

```
* Base-25per defined as 250 years of no action with miu at Hotelling control rates
```

```
$include def_base_25per.gms
```

```
$include def_reset.gms
```

```
* Stern run
```

```
$include def_stern_v2.gms
```

```
$include def_reset.gms
```

```
* Original specification of damage function
```

```
$include def_orig_dam.gms
```

```
$include def_reset.gms
```

```
* Limit to 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 degrees temperature increase
```

```
$include def_limt15deg.gms
```


\$include def_reset.gms

\$include def_limt2deg.gms

\$include def_reset.gms

\$include def_limt25deg.gms

\$include def_reset.gms

\$include def_limt3deg.gms

\$include def_reset.gms

* Limit to 1.5 2 and 2.5 preindustrial co2

\$include def_lim15xco2.gms

\$include def_reset.gms

\$include def_lim2xco2.gms

\$include def_reset.gms

\$include def_lim25xco2.gms

\$include def_reset.gms

* Limited participation in emissions reductions from 20% to 50%

\$include def_limpart.gms

\$include def_reset.gms

* Estimate of run with Kyoto without US and full trading

\$include def_kyoto_nous.gms

\$include def_reset.gms

* Estimate of run with Kyoto with US and full trading

\$include def_kyoto_withus.gms

\$include def_reset.gms

* Estimate of strengthened Kyoto

\$include def_kyoto_strong.gms

\$include def_reset.gms

\$include def_gore.gms

```
$include def_reset.gms
```

```
$include def_limpart.gms
```

```
$include def_reset.gms
```

```
$include def_base_35per.gms
```

```
$include def_reset.gms
```

* Output of all runs in one put file

```
$include put_dice_delta_runs_050807.gms
```

```
display b11, b12, b21, b22, b23, b32, b33;
```

Egne scenarioer

I filen def_base_5per.gms legger jeg inn følgende for å definere et scenario der det er klimautsettelse i 5 perioder og temperaturmål på maksimalt 2 grader over 1900-nivå:

* Definition of base5 results

* Control statements

```
mat.up(t) = 3000;
```

```
TATM.up(t) = 2 ;
```

```
MIU.lo("1")=miuhotel("1");
```

```
MIU.lo("2")=miuhotel("2");
```

```
MIU.lo("3")=miuhotel("3");
```

```
MIU.lo("4")=miuhotel("4");
```

```
MIU.lo("5")=miuhotel("5");
```

```
MIU.up("1")=miuhotel("1");
```

```
MIU.up("2")=miuhotel("2");
```

```
MIU.up("3")=miuhotel("3");
```

```
MIU.up("4")=miuhotel("4");
```

```
MIU.up("5")=miuhotel("5");
```

```
I.lo("1")=hotel_invest("1");
```

```
I.lo("2")=hotel_invest("2");
```

```
I.lo("3")=hotel_invest("3");
```

```
I.lo("4")=hotel_invest("4");
```

```
I.lo("5")=hotel_invest("5");
```

```
I.up("1")=hotel_invest("1");
```

```
I.up("2")=hotel_invest("2");  
I.up("3")=hotel_invest("3");  
I.up("4")=hotel_invest("4");  
I.up("5")=hotel_invest("5");
```

Appendiks B - Utleddning av konstant periodevis konsumekvivalent

Aggregert neddiskontert velferd er gitt som

$$W = \sum_{t=1}^{60} \left(\frac{10 \cdot RR(t) \cdot L(t) \cdot (Periodu(t))}{scale1} \right) + scale2$$

der den periodevise nytten $Periodu(t)$ er

$$Periodu(t) = \frac{\left[\left(\frac{C(t)}{L(t)} \right)^{1-\alpha} - 1 \right]}{1-\alpha}$$

Her er α elastisiteten til den marginale nytten av konsum. Denne er satt til 2 i modellen.

Ettersom vi er ute etter en periodevis konstant C , \bar{C} , kan den periodevise nytten videre uttrykkes som

$$Periodu(t) = \frac{\left[\left(\frac{\bar{C}}{L(t)} \right)^{-1} - 1 \right]}{-1}$$

Vi får det fullstendige uttrykket for total neddiskontert velferd, W :

$$W = \sum_{t=1}^{60} \left(\frac{10 \cdot RR(t) \cdot L(t) \cdot \frac{\left[\left(\frac{\bar{C}}{L(t)} \right)^{-1} - 1 \right]}{-1}}{scale1} \right) + scale2$$

Appendiks B - Utleddning av konstant periodevis konsumekvivalent

$$W = \sum_{t=1}^{60} \left(\frac{10 \cdot RR(t) \cdot L(t) \cdot \left[\frac{\left(\frac{\bar{C}}{L(t)}\right)^{-1}}{-1} - \frac{1}{-1} \right]}{scale1} \right) + scale2$$

$$W = \sum_{t=1}^{60} \left(\frac{10 \cdot RR(t) \cdot L(t) \cdot \left[-\frac{1}{\left(\frac{\bar{C}}{L(t)}\right)} + 1 \right]}{scale1} \right) + scale2$$

$$W = \sum_{t=1}^{60} \left(\frac{\frac{-10 \cdot RR(t) \cdot L(t)}{\left(\frac{\bar{C}}{L(t)}\right)} + 10 \cdot RR(t) \cdot L(t)}{scale1} \right) + scale2$$

$$(W - scale2) \cdot scale1 = \sum_{t=1}^{60} \left(10 \cdot RR(t) \cdot L(t) - \frac{10 \cdot RR(t) \cdot L(t)}{\frac{\bar{C}}{L(t)}} \right)$$

$$(scale2 - W) \cdot scale1 + \sum_{t=1}^{60} 10 \cdot RR(t) \cdot L(t) = \sum_{t=1}^{60} \left(\frac{10 \cdot RR(t) \cdot L(t)}{\frac{\bar{C}}{L(t)}} \right)$$

Ettersom \bar{C} er konstant over tid kan vi sette denne utenfor:

$$(scale2 - W) \cdot scale1 + \sum_{t=1}^{60} 10 \cdot RR(t) \cdot L(t) = \frac{1}{\bar{C}} \cdot \sum_{t=1}^{60} (10 \cdot RR(t) \cdot [L(t)]^2)$$

Appendiks B - Utleddning av konstant periodevis konsumekvivalent

$$\bar{C} = \frac{\sum_{t=1}^{60} 10 \cdot RR(t) \cdot L(t)^2}{\left((scale2 - W) \cdot scale1 + \sum_{t=1}^{60} 10 \cdot RR(t) \cdot L(t) \right)}$$

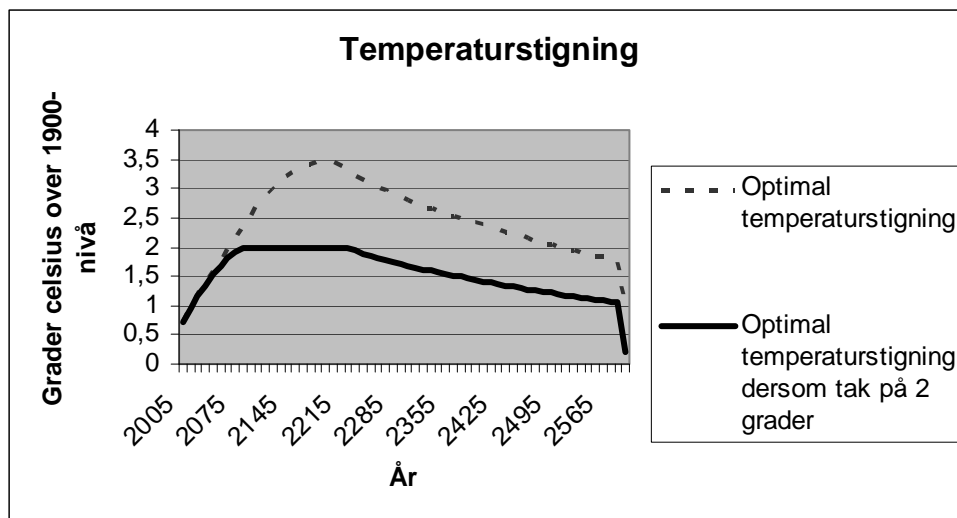
der $scale1$ og $scale2$ er skaleringskoeffisienter på henholdsvis 194 og 381800.

Appendiks C – Ulike figurer og tabeller

Tabell C.1: Oversikt over utvikling av temperatur over tid for ulike scenarier

Ulike scenarier	Temperatur 2055	Temperatur 2105	Temperatur 2205	Temperatur 2305
Kontroll av utslipp fra:				
2005 – Optimalt scenario	1,783	2,689	3,437	2,808
2015	1,783	2,689	3,437	2,808
2025	1,81	2,706	3,447	2,817
2035	1,845	2,73	3,46	2,83
2045	1,886	2,762	3,477	2,846
2055	1,926	2,804	3,5	2,867
Scenarier med maks 2°C økning fra 1900-nivå				
Kontroll av utslipp fra:				
2005 – Optimalt scenario, maks 2°C økning fra 1900	1,685	2	2	1,683
2015	1,685	2	2	1,683
2025	1,715	2	2	1,683
2035	1,76	2	2	1,687
2045	1,815	2	2	1,684
2055	1,885	2	2	1,685

Figur C.1: Oversikt over temperaturstigningen en får i optimalt, sammenliknet med temperaturstigning i optimalt scenario med restriksjon på maksimalt 2°C økning fra 1900-nivå.



Referanser

Aaheim, H. A., Fuglestedt, J. S. & Godal, O. (2006) Costs Savings of a Flexible Multi-Gas Climate Policy. *The Energy Journal*, Multi-Greenhouse Gas Mitigation and Climate Policy Special Issue, s. 485-502

Carbon Dioxide Information Analysis Center. *Frequently Asked Global Change Questions* [Internett], U.S. Department of Energy. Tilgjengelig på <http://mercury.ornl.gov/cdiac/> [Nedlastet 15.05.2008]

EU (2008): *Questions and Answers on the Commission's proposal for effort sharing*. MEMO/08/34. [Internett], Brussel, EU. Tilgjengelig fra: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/34&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en> [Nedlastet 15.05.2008]

Finansdepartementet (2007) FOR BUDSJETTÅRET 2008. *Skatte-, avgifts- og tollvedtak*. St.prp. nr. 1 (2007-2008), Oslo, Finansdepartementet.

FNs klimapanel (2001) *Climate Change 2001: Synthesis Report* [Internett], Cambridge, Cambridge University Press. Tilgjengelig fra <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-en.pdf> [Nedlastet 21.03.2008]

FNs klimapanel (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers* [Internett], FNs klimapanel, Valencia, Spain. Tilgjengelig fra http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf [Nedlastet 15.04.2008]

Grepperud, S. & Rasmussen, I. (1998): Energieffektivisering i en makroøkonomisk likevektsmodell for Norge. *ProSus* [Internett], Rapport 4/98. Tilgjengelig fra: <http://www.prosus.uio.no/publikasjoner/Rapporter/1998/1998-04/1998-04.html> [Nedlastet 10.03.2008]

Kallbekken, S. & Rive, N. (2007) Why delaying emission reductions is a gamble. *Climatic Change*, 82, s. 27-45

Mann, M.E., Gille, E.P., Bradley, R.S., Hughes, M.K., Overpeck, J.T., Keimig, F.T. & Gross, W.S. (11.2000) *Global Temperature Patterns in Past Centuries: An Interactive Presentation* [Internett], National Climatic Data Center. Tilgjengelig fra:

http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/ei/ei_data/globann-recon.dat [Nedlastet 28.05.2008]

Miljøverndepartementet (2007): *Norsk klimapolitikk*. St.meld. nr. 34 (2006-2007), Oslo, Miljøverndepartementet.

Nordhaus, W. D. (1994) *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*. Cambridge MA, MIT Press.

Nordhaus, W. D. & Boyer, J. (2000) *Warming the World. Economic Models of Global Warming*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.

Nordhaus, W. D. (08.2007) *Index of /~nordhaus/DICE2007_programs* [Internett] Yale University. Tilgjengelig fra: http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/DICE2007_programs/ [Nedlastet 22.11.2007]

Nordhaus, W. D. (2007) *The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy* [Internett] New Haven, Connecticut USA, Yale University. Tilgjengelig fra: http://nordhaus.econ.yale.edu/dice_mss_091107_public.pdf [Nedlastet 28.01.2008]

Presterud, P. & Kallbekken, S. (2007) Klimautfordringen: Hvor reelt er trusselbildet? *Horisont*, 1/2007, Side 40-49.

Romstad, B., Fuglestvedt, J. S. & Berntsen, T. (2003) Hvem har skylden for klimaendringene? *Cicerone*, 1-2003, side 8-10.

Wigley, T. M. L., Richels, R., Edmonds, J. A. (1996): Economic and environmental choices in the stabilisation of atmospheric CO₂ concentrations. *Nature*, 379, s. 242-245.