Klima og økonomisk vækst

Speciale
Økonomi
Line Vandborg
Simon Andresen
Gruppe 6
Vejleder: Jesper Jespersen
Aalborg Universitet
03-06-2022

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

10. semester v/ Det Samfundsvidenskabelige Fakultet
Institut for Økonomi og Ledelse
Fibigerstræde 2
DK - 9220 Aalborg Øst

Titel:	**Klima og Økonomisk vækst**
Semester:	**10. semester**
Projektperiode:	**1. februar 2022 til 3. juni 2022**
Vejleder:	**Jesper Jespersen**
Projektgruppe:	**Gruppe 6**

Deltagere:

Line Vandborg
Studienummer: 20177334

Simon Andresen
Studienummer: 20164277

Antal anslag:	171.070 stk.
Normalsider:	71,3 sider

Abstract

The purpose of this master thesis is to examine the feasibility of achieving global sustainable economic growth. The motivation behind this research is that climate change is a major present-day threat that has increased over the last few centuries. Therefore, it is important for policymakers to reach an agreement on global climate policies that will reduce CO_2 emissions.

A popular science-based approach to assessing the impact of climate change on the economy involves the use of integrated assessment models. These models highlight the nexus between climate change and global economic growth by incorporating theories from different disciplines into one model. In this master thesis, the theoretically integrated assessment model, the simple climate Solow-model, assesses whether global sustainable economic growth can be achieved.

The analysis shows that based on the selected model, the simple climate Solow-model, applying a discount rate of 1.4%, the time horizon used in the cost-benefit-analysis, the thesis' definition of global sustainable economic growth and the simulation's parameters and initial values, it is theoretically possible to achieve global sustainable economic growth, understood as CO_2 neutrality by the year 2050, but it will require a very rigorous climate policy.

The analysis results are highly dependent on which model is used to examine the problem and which parameters and initial values are used in the simulation model. Moreover, the discount rate plays a crucial part in the conclusion. Thus, the discount rate is the dominant decision variable determining whether it is cost-effective to implement a climate policy that assures global sustainable economic growth in 2050.

Indholdsfortegnelse

Abstract **iii**

Kapitel 1 Indledning **1**
1.1 Indledning . . . 1
1.2 Problemfelt . . . 2
1.3 Motivation . . . 2
1.4 Afgrænsning . . . 3
1.5 Læsevejledning . . . 3

Kapitel 2 Klima & økonomisk vækst **5**
2.1 En simpel model for klima og økonomisk vækst . . . 5
2.1.1 Den simple klima Solow-model . . . 6
2.1.2 Klimapolitik i den simple klima Solow-model . . . 13
2.1.3 Cost-benefit-analyse . . . 16
2.1.4 Den samfundsøkonomiske diskonteringsrente . . . 17
2.1.5 Kort opsamling . . . 21
2.2 DICE-modellen . . . 21
2.2.1 Modellen . . . 23
2.2.2 Resultaterne fra DICE-modellen . . . 24
2.3 Forholdet mellem økonomisk vækst og klima . . . 28
2.3.1 Det traditionelle nationalregnskab . . . 29
2.3.2 Det grønne nationalregnskab . . . 29
2.3.3 Grønt BNP . . . 31
2.4 Definition af begrebet global bæredygtig økonomisk vækst . . . 32

Kapitel 3 Global bæredygtig økonomisk vækst **35**
3.1 Introduktion . . . 35
3.2 Business-as-usual . . . 37
3.2.1 Udvikling i den gennemsnitlige verdenstemperatur . . . 38
3.2.2 Udvikling i den årlige udledning af CO_2 . . . 39
3.2.3 Udvikling i output pr. arbejder . . . 40
3.3 Klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050 . . . 40
3.3.1 Udvikling i den gennemsnitlige verdenstemperatur . . . 41
3.3.2 Udvikling i den årlige udledning af CO_2 . . . 42
3.3.3 Udvikling i output pr. arbejder . . . 43
3.3.4 Cost-benefit-analyse af den førte klimapolitik . . . 44
3.3.5 Tidshorisontens betydning for cost-benefit-analysen . . . 45
3.4 Udskydelse af klimapolitikken til 2025 . . . 47
3.4.1 Udvikling i den gennemsnitlige verdenstemperatur . . . 48
3.4.2 Udvikling i den årlige udledning af CO_2 . . . 49
3.4.3 Udvikling i output pr. arbejder . . . 50

3.4.4 Cost-benefit-analyse . . . 51
3.5 Den 'optimale' klimapolitik . . . 52
3.6 Opsamling af simulationsresultater . . . 55

Kapitel 4 Diskussion **57**
4.1 Er bæredygtig global økonomisk vækst muligt? . . . 57
4.1.1 Modelvalg . . . 57
4.1.2 Diskonteringsrenten . . . 59
4.1.3 Definition af global bæredygtig økonomisk vækst . . . 61
4.1.4 Parameter- og begyndelsesværdier . . . 61
4.1.5 Er bæredygtig global økonomisk vækst muligt? . . . 64
4.2 Grønt versus traditionelt BNP . . . 65
4.2.1 Velstand vs. velfærd . . . 66
4.3 Kritik af den simple klima Solow-model . . . 66
4.3.1 Hvordan fastsættes klimapolitikken? . . . 67
4.4 Det politiske system . . . 69

Kapitel 5 Konklusion **71**

Litteratur **73**

Kapitel 6 Bilag **77**
6.1 Simulation af den simple klima Solow-model i redegørelsen . . . 77
6.2 Simulation af effekten af en klimapolitik i den simple klima Solow-model . . 80
6.2.1 Simulation af cost-benefit-analyse i den simple klima Solow-model . 82
6.3 Simulationer i analysen . . . 83
6.3.1 Simulation af business-as-usual (BAU) i analysen . . . 83
6.3.2 Simulation af Klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050 . . . 83
6.3.3 Cost-benefit-analyse af Klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050 . . . 84
6.3.4 Tidshorisontens betydning for cost-benefit-analysens resultater . . . 85
6.3.5 Simulation af udskudt klimapolitik i analysen . . . 87
6.3.6 Cost-benefit-analyse af udskudt Klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050 88
6.3.7 Optimal klimapolitik ved $3,5\%$ diskonteringsrente . . . 89
6.3.8 Optimal klimapolitik ved $1,4\%$ diskonteringsrente . . . 89
6.3.9 Cost-benefit analyse af optimal klimapolitik ved $3,5\%$ diskonteringsrente . . . 90
6.3.10 Cost-benefit analyse af optimal klimapolitik ved $1,4\%$ diskonteringsrente . . . 91
6.4 Simulation i diskussionen . . . 92
6.4.1 Simulation af BAU: Hvor emissionsintensiteten og væksten heri fastsættes efter DICE-modellen i 2016 . . . 92

Kapitel 7 Appendiks **93**
7.1 Ligningssystemet i den simple klima Solow-model . . . 93
7.1.1 Den simple klima Solow-model: Business-as-usual . . . 93
7.1.2 Den simple klima Solow-model: Med klimapolitik . . . 94

Indledning 1

1.1 Indledning

En af de helt store aktuelle problemstillinger globalt er klimaforandringerne. De seneste to årtier har indeholdt de 18 varmeste år, som nogensinde er målt. Det spiller dermed en afgørende rolle, at der hurtigst muligt bliver lavet målrettede klimatiltag. Den globale opvarmning har store konsekvenser, bl.a. ændrer den klimaet og er skyld i, at der oftere sker mere ødelæggende vejrbegivenheder som orkaner, hedebølger, skovbrænde mv. Disse ekstreme vejrbegivenheder skaber store og omkostningsfulde ødelæggelser, koster liv og kan skade den økonomiske vækst [Europa Kommissionen, b, s. 2].

Tilbage i oktober 2018 offentliggjorde FN's klimapanel en rapport omhandlende, hvad konsekvenserne ville være, hvis den globale opvarmning var skyld i en global gennemsnits temperaturstigning på $1,5°C$. I denne rapport blev det beskrevet, at de menneskelige aktiviteter anslås til at have bidraget med en gennemsnitlig temperaturstigning på $1°C$ i forhold til det førindustrielle niveau. Derudover anslås det, at den globale gennemsnitstemperatur sandsynligvis vil nå $1,5°C$ mellem år 2030 og 2052, hvis den fortsætter med at stige med den nuværende hastighed [FN's klimapanel, 2019]. Hvis der ikke bliver gjort en mere intensiv klimaindsats internationalt, så vil den gennemsnitlige temperaturstigning forsætte med at øges, og dermed vil det til sidst kunne ende med, at kloden bliver som et drivhus, hvilket vil føre til større og mere uoprettelige klimaskader [Europa Kommissionen, b, s. 2].

I en rapport af FN's klimapanel bliver det bekræftet, at det forventes, at op mod 4% af verdens samlede areal vil opleve at skulle transformeres fra en type økosystem til en anden, hvis der sker en global gennemsnitstemperaturstigning på $1°C$. Hvis der derimod sker en stigning på $2°C$, vil op mod 13% af vedens samlede areal opleve denne transformation. En temperaturstigning på $1,5 - 2°C$ vil medføre, at den grønlandske iskappe vil smelte, hvilket vil føre til uoprettelige tab og dermed stigninger i vandstanden i verdenshavene, som vil have fatale konsekvenser både indenfor produktiviteten, infrastrukturer og produktionsevnerne til bl.a. fødevarer mv. [Europa Kommissionen, b, s. 2].

Disse katastrofer påvirker ikke kun befolkningen, da der er også mange omkostninger forbundet med bl.a. oversvømmelser, hedebølger, orkaner mv. Den globale opvarmning kan påvirke arbejdsproduktiviteten, som vil blive reduceret, hvis der forbliver stigende temperaturstigninger. Yderligere vil tilgængeligheden til fødevarer falde ved en temperaturstigning på $2°C$ sammenlignet med $1,5°C$ [Europa Kommissionen, b, s. 2].

For at kunne reducere sandsynligheden for, at der opstår ekstreme vejrhændelser, bliver det i rapporten af FN's klimapanel bekræftet, at der skal ske en begrænsning af

klimaforandringerne ved en global temperaturstigning på maks. $1,5°C$ [FN's klimapanel, 2019]. For at kunne opnå dette mål skal der ske hurtigere reduktioner i udledningen, end hvad der tidligere har været forventet, derudover skal der globalt set opnås klimaneutralitet i år 2050, for at temperaturstigningen kan begrænses til $1,5°C$ [Europa Kommissionen, b, s. 5].

For at kunne opnå klimaneutralitet i år 2050 vil det kræve en global indsats, derfor vil det også kræve et samarbejde internationalt for at kunne opnå en lavemmisionsøkonomi over hele kloden.

1.2 Problemfelt

Indledningen fremhæver vigtigheden af, at der bliver gjort en aktiv indsats nu og her i forhold til klimaforandringerne, da de har vidtgående menneskelige og økonomiske konsekvenser for de fremtidige og nuværende generationer. Det giver derfor anledning til at undersøge i et teoretisk modelsetup, om det overhovedet er muligt og realistisk, at verden kan blive CO_2-neutral i år 2050. På baggrund af dette ønskes der i specialet at undersøge følgende problemformulering:

Er det muligt at opnå global bæredygtig økonomisk vækst?

Til at besvare specialets problemformulering ønskes det at kunne besvare følgende underspørgsmål i løbet af specialet:

- Hvordan kan sammenhængen mellem klimaforandringerne og den globale økonomiske vækst modelleres?
- Hvilken rolle spiller diskonteringsrenten i opnåelsen af en global bæredygtig økonomisk vækst?
- Hvilke politiske problemstillinger kan der opstå ved fastsættelsen af en fælles global klimapolitik?

1.3 Motivation

De tidligere generationer har stået for størstedelen af CO_2-udledningen siden starten af år 1900. Dette begynder de nuværende generationer at mærke i deres hverdag, og fremtidens generationer kommer til at mærke det i endnu større grad, hvis udviklingen fortsættes. Derfor er det ekstremt vigtigt, at de nuværende generationer begynder at overveje og gennemføre klimapolitikker, der kan være med til at sænke hastigheden for denne udledning og ideelt helt at reducere udledningen til nul. Med den hastighed, som udledningen har i dag, kan det være svært at forestille sig, at det er muligt at reducere udledningen til nul indenfor den nærmeste fremtid, men det er en nødvendighed for at bekæmpe klimaforandringerne, som truer den økonomisk vækst, men også menneskeheden som helhed. Denne problemstilling har derfor været motivationen bag arbejdet i dette speciale.

Formålet med specialet er at bidrage til litteraturen omhandlende klimaforandringerne og økonomisk vækst ved at adskille sig fra den allerede eksisterende litteratur indenfor

feltet. Denne adskillelse opstår, ved at der i specialet foretages simulationer i en Integrated Assessment Model med henblik på at undersøge, hvorledes det igennem en klimapolitik er teoretisk muligt at opnå en global bæredygtig økonomisk vækst, som er defineret som en økonomisk vækst, der leder til en nuludledning af CO_2 i år 2050 jf. det senere definitionsafsnit 2.4. Den allerede eksisterende litteratur indenfor feltet har i stedet fokus på at undersøge, hvad der er den optimale klimapolitik[1] [Nordhaus, 2019], og hvilken klimapolitik der skal til for at 2°C målet, som blev fastsat ved Parisaftalen, overholdes [Tsigaris og Wood, 2016].

1.4 Afgrænsning

I forbindelse med undersøgelsen af specialets problemformulering er det blevet valgt at anvende Integrated Assessment Models som et modelværktøj til at foretage simulationer med. Derved afgrænses der fra at kigge på andre modeltyper, der ligeledes kunne have været anvendt til at undersøge problemformuleringen med. I specialet bliver der beskrevet to Integrated Assesment Models, og herved afgrænses der fra at inddrage andre.

I specialet er den eneste drivhusgas, der bliver behandlet CO_2. Dette har bl.a. resulteret i, at definitionen af, hvad global bæredygtig økonomisk vækst er, kun har fokus på CO_2-neutralitet. Denne afgrænsning er opstået naturligt og har derfor ikke været et bevidst valg, eftersom at den anvendte model, den simple klima Solow-model, kun behandler effekten, som CO_2-udledningen har på klimaet. Det betyder derfor, at når temperaturstigninger simuleres i løbet af specialet, så er der kun tale om de temperaturstigninger, der forekommer på baggrund af CO_2-udledningen, og ikke de stigninger, der forekommer på baggrund af andre drivhusgasser. Problematikker ved dette diskuteres i diskussionen.

Formålet med specialet er at kunne besvare problemformuleringen omhandlende, om det er muligt at opnå global bæredygtig økonomisk vækst. Formålet med specialet er ikke at undersøge konkrete klimapolitiske forslag, som bør gennemføres. Klimapolitikken bliver i specialet behandlet som et instrument, der kan anvendes til at se, hvilke effekter det har at stramme klimapolitikken, både i forhold til de økonomiske og klimatiske implikationer. Anvendelsen af klimapolitikken i specialet kan derfor sammenlignes med anvendelse af hhv. ekspansiv og kontraktiv finans- og pengepolitik i fx IS-LM- eller AS-AD-modellen, hvor det ikke nødvendigvis konkretiseres, hvordan politikkerne skal føres i praksis, men i stedet for anvendes teoretisk til at forklare, hvordan det påvirker ligningssystemet at føre politikkerne. Selvom formålet ikke er at komme med konkrete bud på klimapolitikker, diskuteres det alligevel i specialet, hvor realistiske udførelsen af de påkrævede klimapolitikker er i forhold til analysens resultater.

1.5 Læsevejledning

I kapitel 2 introduceres læseren indledningsvist til den anvendte Integrated Assessment Model, der senere bruges til at udføre simulationer med. Teorien og de centrale ligninger bag modellen præsenteres her, og det kræver derfor, at læseren læser dette afsnit grundigt for at forstå, hvordan simulationerne foretages i analysen. Efterfølgende i kapitel 2 beskrives

[1] Økonomisk optimal, og ikke hvad der er bedst for klimaet.

DICE-modellen for at kunne sammenholdes op imod den anvendte simple klima Solow-model, og DICE-modellens simulationsresultater præsenteres efterfølgende, hvilket skal anskues som værende hhv. en præsentation af resultaterne, men også et litteraturreview. Afslutningsvist i kapitel 2 præsenteres specialets definition af, hvad der forstås ved global bæredygtig økonomisk vækst.

I kapital 3 introduceres læseren først kort for den metodiske tilgang i analysen, hvor det forklares, hvordan simulationerne foretages, og hvilke parameter- og begyndelsesværdier der anvendes. Efterfølgende præsenteres simulationsresultaterne.

I kapitel 4 diskuteres simulationsresultaterne i specialet, og hvordan forskellige aspekter kan påvirke konklusionerne, der kan drages på baggrund af simulationsresultaterne. Kapitel 4 indeholder også et kritikafsnit af den anvendte Integrated Assessment Model og afsluttes med en diskussion af, hvorledes de påkrævede klimapolitikker er realistiske udførte i praksis, samt problematikker.

Afslutningsvist i kapitel 5 konkluderes der på specialets resultater.

Klima & økonomisk vækst 2

I dette kapitel præsenteres indledningsvist en simpel model for klima og økonomisk vækst, der er en videreudvikling af den teoretiske Solow-model, hvor klimaforandringernes effekt på produktionen tilføjes. I forlængelse af modellen fremvises det, hvordan der kan udføres cost-benefit-analyser på forskellige klimapolitikker for at vurdere, hvilke klimapolitikker der er profitable samt, hvilke politikker der er mest profitable at gennemføre. Her diskuteres diskonteringsrentens betydning for resultaterne af cost-benefit-analysen. Efterfølgende præsenteres DICE-modellen, som er en mere kompleks model for klima og økonomisk vækst, hvorefter DICE-modellens resultater fremvises og diskuteres. Efterfølgende forklares forskellen mellem det traditionelle og det grønne nationalregnskab. Afslutningsvist forklares det, hvordan begrebet bæredygtig global økonomisk vækst defineres i specialet.

2.1 En simpel model for klima og økonomisk vækst

Solow-modellen er én af nøglemodellerne indenfor den neoklassiske økonomiske tankegang, som har lagt grundstenene for genstandsfeltet vækstteori. Formålet med Solow-modellen var at skulle kunne forklare, hvad der skaber økonomisk vækst på lang sigt. Modellen, som er blevet udviklet af Robert Solow og Trevor Svan, bygger på nogle centrale antagelser, der er anvendt for at kunne simplificere modellen. Antagelserne består bl.a. af, at modellen betragter en lukket økonomi, der er ingen offentlig sektor til stede, og der er kun ét homogent gode i modellen. Med tiden er der blevet videreudviklet på modellen, hvor mere detaljerede modeller er opstået, som fx udgaver af modellen, hvor teknologien bliver endogeniseret [Romer, 2019, s. 10].

Langt de fleste modeller indenfor vækstteori tager ikke forbehold for, at produktionen, som er med til at skabe væksten, leder til, at der udledes forurening. De fleste modeller indenfor vækstteori opfanger ikke konsekvenserne, som en øget produktion har på klimaet. Produktionen udleder bl.a. drivhusgasser, som har resultereret i, at den gennemsnitlige verdenstemperatur er steget. Hvis opgørelsen af output medregnede alle de gevinster og omkostninger, der opstår i forbindelse med produktionen, igennem priser, der korrekt reflekterer værdien af gevinsterne og omkostningerne, udtrykt som nytte, så vil forurening indgå som en negativ pris i udregningen af output, og det korrekte output vil være lavere. Derudover, hvis der ses bort fra denne tankegang, så kan ekstreme ændringer i klimaet også påvirke den traditionelle måleenhed for output[1]. En sådan situation vil kunne opstå, hvis klimaforandringerne påvirker havniveauet i så høj en grad, at det fx ødelægger infrastruktur, og derved skader distributionsnetværket for virksomheder. Sådanne effekter

[1]Det traditionelle BNP versus det grønne BNP. Denne sondring bliver uddybet i afsnit 2.3.3.

ville også kunne opstå igennem ændringer i vejrmønstret, som fx kunne ødelægge eller forværre landbrugsbranchens produktion [Romer, 2019, s. 43].

Igennem den aktuelle produktion skaber de nuværende generationer negative eksternaliteter for de fremtidige generationer, som resulterer i øgede klimaomkostninger for de fremtidige generationer. For at mindske klimaomkostningerne kan det være nødvendigt, at de nuværende generationer opgiver noget af den økonomiske vækst. Gevinsterne, der er forbundet med denne opgivelse af noget af den nuværende økonomiske vækst, varierer i forhold til de gevinster, der opstår ved at opgive vækst, udtrykt som reduceret skade for de fremtidige generationer igennem fx lavere temperaturstigninger. For at kunne vurdere gevinsterne ved at opgive noget af den nuværende økonomiske vækst spiller diskonteringsrenten en central rolle. Hvis diskonteringsrenten fastholdes på relativt højt niveau, så har det ikke særlig stor betydning, hvad der sker om 100 eller 200 år ude i fremtiden, men hvis der anvendes en meget lav diskonteringsrente eller tilmed negativ, så placeres der en meget højere vægt på den fremtidige skade. Diskonteringsrenten spiller derfor en vigtig rolle i en cost-benefit-analyse af, hvorledes det er optimalt, ud fra et intergenerationelt perspektiv at foretage ekstrem klimapolitik med henblik på at reducere udledningen af drivhusgasser hurtigt, eller om det bedre kan svare sig at reducere udledningen langsomt med en klimapolitik, der bliver strengere over tid. Hvad der dog typisk ikke medregnes i denne type af cost-benefit-analyser, er, at de skader, der opstår som et resultat af klimaforandringerne, er irreversible med den nuværende tilgængelige teknologi, det bør derfor også have en indflydelse på valget af en klimapolitik [Tsigaris og Wood, 2016, s. 66].

Integrated Assessment Models (IAM), også kendt som integreret vurderingsmodeller på dansk, er en tilgang, der kan anvendes til at modellere sammenspillet imellem klimaforandringerne og den globale økonomiske vækst. Modellerne benyttes til at inddrage teorier fra forskellige fagområder i ét modelsetup. Der kan bl.a. anvendes cost-benefit-analyser på IAM-modellerne til at vurdere, om det er profitabelt at føre en foreslået klimapolitik. Et eksempel på en IAM-model er DICE-modellen, som bl.a. den amerikanske regering gør brug af [United States Environmental Protection Agency, 2012]. Modellerne vurderer forskellige scenariers effekt og anvendes til at vurderer effekten af klimapolitikker. En simpel integreret vurderingsmodel kan udledes fra Solow-modellen, denne model er kendetegnet som den simple klima Solow-model [Tsigaris og Wood, 2016, s. 66].

2.1.1 Den simple klima Solow-model

Den simple klima Solow-model tager udgangspunkt i Solow-modellen med en standard Cobb-Douglas produktionsfunktion, hvor det producerede output er bestemt ud fra en kombination af kapital (K_t), arbejdskraft (L_t) og teknologi (A_t):

$$Y_t = A_t K_t^{\alpha} L_t^{1-\alpha} \tag{2.1}$$

Det kan udtrykkes som output pr. arbejder ved at dividere igennem med $L_t^{1-\alpha}$:

$$y_t = A_t K_t^{\alpha} \tag{2.2}$$

Som et resultat af opbygningen af atmosfæriske drivhusgasser, er det forventet, at der vil ske signifikante klimaforandringer i de kommende årtier og derefter. Den mest centrale

drivhusgas er CO_2, hvor udledningen af denne er steget hurtigt i de seneste årtier. Beregninger foretaget af diverse klimamodeller viser, at en fordobling af mængden af CO_2 i atmosfæren vil lede til en stigning i den gennemsnitlige globale temperatur til et sted imellem $2-4,5°$C [Nordhaus, 2008, s. 30-32]. For at opfange klimaforandringernes effekter i modellen tilføjes effekten af en stigning i temperaturen til modellen, hvilket er en standard antagelse i de fleste integrerede vurderingsmodeller [Tsigaris og Wood, 2016, s. 68]. I modellen antages det, at en stigning i temperaturen resulterer i nedgang i produktionen i samme periode, som stigningen forekommer. Det antages yderligere i modellen, at temperaturstigningerne ikke påvirker deprecieringsraten af kapital, produktionsfaktorerne og vækstraten i teknologi. Modellen vil i en mere kompleks udgave kunne udvides, til at temperaturstigningerne også vil påvirke disse variable. Det sker dog ikke i den simple klima Solow-model.

Klimaforandringernes effekt på output pr. arbejder funktionen i modellen udtrykkes som:

$$y_t = D_t A_t K_t^{\alpha} \tag{2.3}$$

Hvor:

$$D_t = \frac{1}{1 + \theta_1 T_t^{\theta_2}} \leq 1 \tag{2.4}$$

D_t skal betragtes som værende en funktion, der beskriver skaden, som klimaforandringerne er skyld i. Denne skade påvirker produktionen og derigennem output pr. arbejder. T_t er temperaturanomalien til tiden t, målt som den stigning, der er sket i den gennemsnitlige verdenstemperatur siden den industrielle revolution og frem til i dag. Produktionsfunktionen i den simple klima Solow-model adskiller sig fra Solow-modellen, ved, at output pr. arbejder reduceres, når temperaturen stiger. Det betyder derfor, at desto højere temperaturanomalien, T_t, bliver, desto mere reduceres output pr. arbejder, y_t, ceteris paribus.

I Solow-modellen antages det, at opsparingsraten er konstant, hvilket betyder, at investeringer pr. arbejder i perioden t udgør sy_t med en konstant deprecieringsrate, δ_K. Dette antages ligeledes i den simple klima Solow-model. Normalt antages det i Solow-modellen, at vækstraten i hhv. arbejdsstyrken og teknologiudviklingen er konstant [Romer, 2019, s. 13]. Men i den simple klima Solow-model antages det i stedet, at vækstraten i arbejdsstyrken og teknologiudviklingen er faldende over tid. Denne antagelse opstår på baggrund af empiriske estimater, der viser, at væksten i hhv. arbejdsstyrken og teknologiudviklingen har været faldende over tid i de senere år. Disse empiriske observationer er foretaget af William Nordhaus, som ligeledes anvender samme antagelse til at beskrive udviklingen i hhv. arbejdsstyrken, g_L, og teknologiniveauet, g_A, i DICE-modellen [Nordhaus og Sztorc, 2013, s. 9].

Det udtrykkes på følgende vis i den simple klima Solow-model:

$$g_{L,t} = \frac{g_{L,t-1}}{(1+\delta_L)^t} \qquad \delta_L > 0 \tag{2.5}$$

$$g_{A,t} = \frac{g_{A,t-1}}{(1+\delta_A)^t} \qquad \delta_A > 0 \tag{2.6}$$

At $\delta_L > 0$ og $\delta_A > 0$ angiver, at de to vækstrater er aftagende over tid. Disse to antagelser resulterer i, at differensligningen, der beskriver dynamikken i modellen, bliver:

$$k_{t+1} - k_t = sy_t - (\delta_k + g_{L,t})k_t \tag{2.7}$$

Ud fra ligning 2.7 kan steady state for kapital arbejdskraftratioen udledes til:

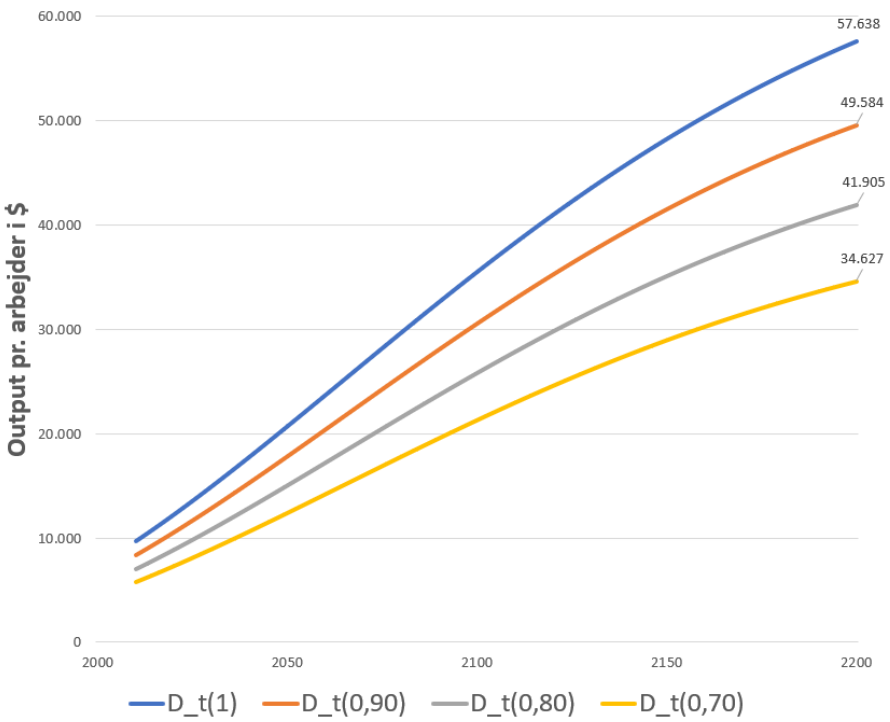
$$K_{ss,t} = \left[\frac{sA_tD_t}{\delta_K + g_{L,t}}\right]^{(\frac{1}{1-\alpha})} \tag{2.8}$$

Ligning 2.8 viser, at på grund af befolkningstilvækst og vækst i teknologiniveauet vil steady-state kapitalarbejdskraftsratioen stige over tid, dog vil stigende temperaturer reducere stigningen da jo højere T_t desto mindre stigning i $K_{ss,t}$. Udtrykket kan efterfølgende indsættes i ligningen for output pr. arbejder:

$$y_t = D_tA_tK_{ss,t}^{\alpha} \tag{2.9}$$

Væksten i output pr. arbejder afhænger af teknologiniveauet, vækstraten i kapital pr. arbejder og skadesfunktionen. I et tilfælde, uden temperaturstigninger vil $D_t = 1$, og dermed vil y_t vækste ved en højere rate end, hvis $D_t < 1$.

Effekten af en ændring i D_t på output pr. arbejder kan illustreres ved at foretage en simulation af modellen. Simulationen tager udgangspunkt i variabelværdierne, der fremgår i bilag 6.1, og ligningssytemet, som fremgår i appendiks 7.1.1. Modellen er blevet opsat i Excel, hvor resultaterne fremgår i bilag 6.1.



Figur 2.1. Figuren viser en simulation af, hvilken effekt forskellige værdier for D_t har i modellen for udviklingen i output pr. arbejder målt i dollars.
Kilde: Egne simulationer pba. [Tsigaris og Wood, 2016]. Se bilag 6.1.

Når D_t fastsættes til 1, så er der ingen temperaturstigninger til stede i modellen, og derved påvirker klimaforandringerne ikke output pr. arbejder. Omvendt fremgår det af figur 2.1, at når D_t fastsættes til $0,90$ i simulationen, så vil output pr. arbejder falde til et væsentligt lavere niveau. Forskellen herimellem er mindre i begyndelsen af perioden, år 2010, men med tiden øges afstanden betydeligt. I 2010 er output pr. arbejder ved modellen med ingen temperaturstigning, $D_t(1)$, svarende til 9.662\$, hvor output pr. arbejder i simulationen med temperaturstigninger, $D_t(0,90)$, svarer til 8.321\$, forskellen herimellem udgør 1.350\$. I år 2200 er output pr. arbejder i simulationen uden temperaturstigninger, $D_t(1)$, 57.638\$, hvor tilvarende output pr. arbejder i simulationen med temperaturstigninger, $D_t(0,90)$, udgør 49.584\$, forskellen herimellem er 8.054\$. Er D_t lavere end $0,90$ øges afstanden yderligere. Simulationen viser samtidigt, at hvis det teoretiske afsæt er den originale Solow-model, og den gennemsnitlige verdenstemperatur stiger, så vil modellen overvurdere det fremtidige niveau for output pr. arbejder, da der ikke tages forbehold for klimaforandringernes skade på den fremtidige produktion.

Stigningen i den gennemsnitlige verdenstemperatur påvirker, hvilken værdi skadesfunktionen tager, og denne fastsættes derfor ikke arbitrært. Stigningen i den gennemsnitlige verdenstemperatur bestemmes endogent i modellen, hvor stigningen afhænger af mængden af CO_2, der bliver udledt.

Mængden af CO_2, der udledes hvert enkelt år i modellen bestemmes på følgende vis:

$$E_t = \sigma_t Y_t \tag{2.10}$$

E_t udtrykker, hvor mange tons CO_2 der frigives i forbindelse med produktionen af outputtet. Hvor mange tons der frigives, bestemmes i modellen igennem en produktionsproces. Denne proces består af σ_t, der udtrykker emissionsintensiteten, der er forbundet ved det eksisterende teknologiniveau til tiden t, hvilket er et udtryk for, hvor meget CO_2, som udledes pr. produceret enhed af output. Den samlede mængden af CO_2, som udledes til tiden t er derfor udregnet som produktionen ganget med emissionsintensiteten [Tsigaris og Wood, 2016, s. 68-69].

Udviklingen over tid i emissionsintensiteten modelleres som værende aftagende, hvilket er et resultat af, at væksten i den globale emissionsintensitet er faldet fra ca. $0,0011$ fra 1950 til ca. $0,0006$ i 2010 [Tsigaris og Wood, 2016, s. 69]. Dette fald er bl.a. et resultat af udvikling i teknologi, og derigennem nye produktionsteknikker, der udleder mindre CO_2 pr. produceret enhed, samt et skift fra kul til andre mindre udledende metoder at producere energi på, såsom naturgasser og atomkraftværker.

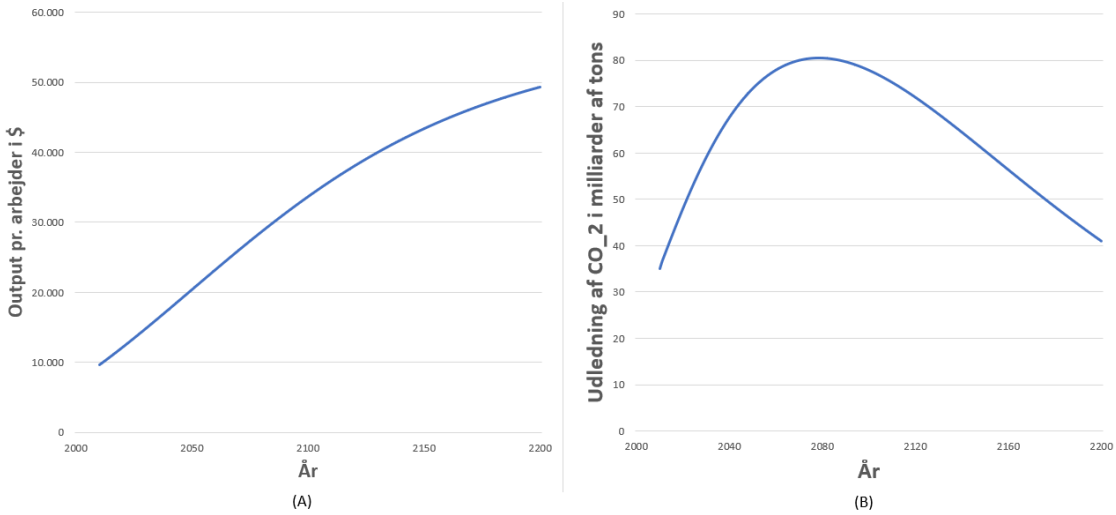
Udviklingen i emissionsintensiteten modelleres i modellen som værende:

$$g_{\sigma,t} = \frac{\sigma_{\sigma,t-1}}{(1+\delta_\sigma)} \qquad \delta_\sigma < 0 \tag{2.11}$$

Værdien af emissionsintensiteten til tiden t er derfor $\sigma_t = \sigma_{t-1}(1+g_{\sigma,t})$, og er bestemt på samme vis som i DICE-modellen [Nordhaus og Sztorc, 2013, s. 14].

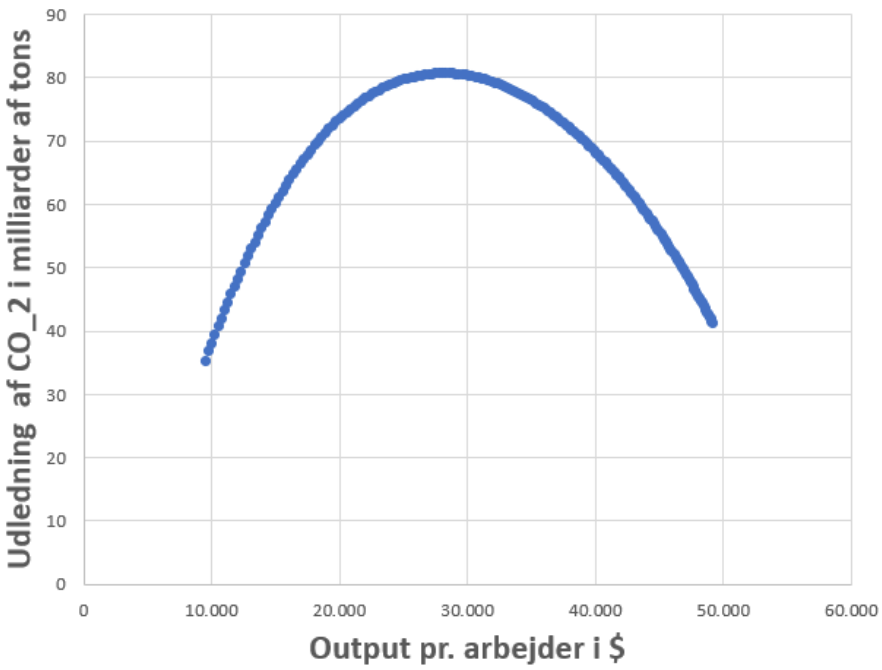
Udviklingen i udledning af CO_2 og udviklingen i output pr. arbejder kan simuleres med udgangspunkt i deres ligninger, hvilke er hhv. ligning 2.10 og ligning 2.9. Resultaterne

af denne simulation fremgår i bilag 6.1, hvor simulationsrestultaterne er fremvist i nedenstående figur 2.2.



Figur 2.2. (A) viser udviklingen i output pr. arbejder. (B) viser udviklingen i udledningen af CO_2 det enkelte år over tid.
Kilde: Egne simulationer pba. [Tsigaris og Wood, 2016]. Se bilag 6.1.

Den simulerede sammenhæng mellem væksten i output pr. arbejder og udledningen af CO_2 illustrerer, at det er svært at reducere udledningen af CO_2 indledningsvist, når økonomien vækster på baggrund af befolkningsvækst, vækst i teknologiniveauet og vækst i kapital pr. arbejder. Simulationen giver indtrykket af, at det kan være nødvendigt at have en lavere vækst nu, for at reducerer den nuværende udledningen af CO_2, indtil produktionen bliver endnu mere effektiv, og emissionsintensiteten ved produktionen reduceres yderligere for så først at vækste derefter. Resultaterne fra de to simulationer kan sammensættes i et plot-diagram, som ses i figur 2.3.



Figur 2.3. Figuren viser et plot-diagram af de simulerede værdier for hhv. output pr. arbejder og udledning af CO_2.
Kilde: Egne simulationer pba. [Tsigaris og Wood, 2016]. Se bilag 6.1.

Betragtes den simulerede figur 2.3, begynder udledning af CO_2 at falde, efter output pr. arbejder har ramt værdien 28.667$. Indledningsvist er $-g_{\sigma,t} < g_{Y,t}$, hvilket får CO_2-udledningen til at stige, dette ses i figur 2.2. Men da vækstraten for output falder over tid pga. aftagende vækst i teknologien og befolkningstilvæksten, samt en ændring til $-g_{\sigma,t} > g_{Y,t}$ over tid, så resulterer det i en negativ vækstrate i udledning af CO_2.

Afslutningvist modelleres det i den simple klima Solow-model, hvordan udledningen af CO_2 og akkumuleringen heraf påvirker temperaturændringerne endogent i modellen. Modellen modellerer en proportional stabil lineær sammenhæng mellem den samlede udledning af kulstoffer og de globale temperaturændringer[2].

Sammenhængen mellem mængden af kulstoffer og temperaturstigninger modelleres i den simple klima Solow-model som:

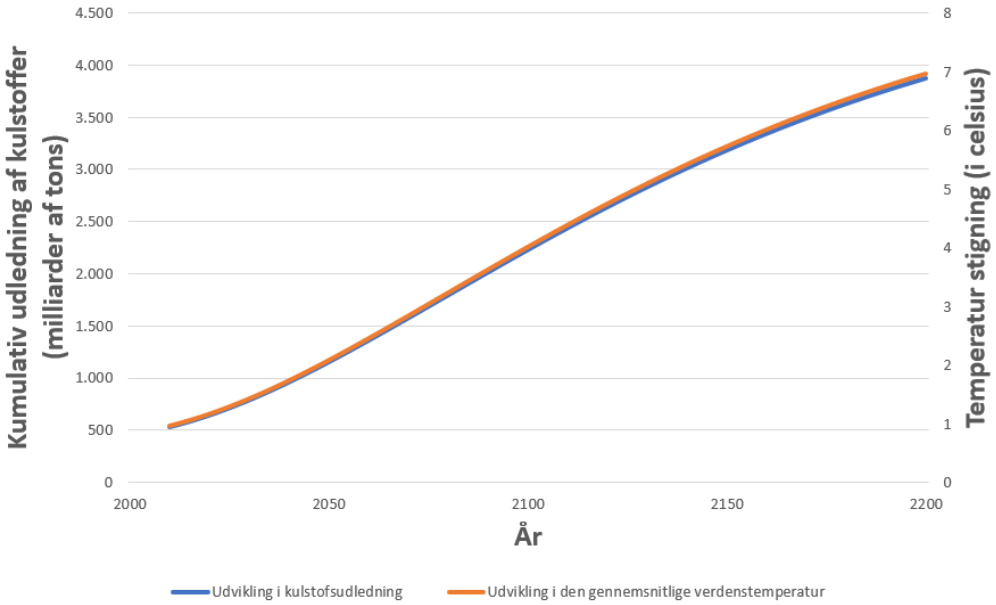
$$T_t = \beta\left[C_0 + \sum_{i=1}^{t} E_i\right] \tag{2.12}$$

Det første term i ligning 2.12, βC_0, er effekten på temperaturen, som den tidligere udledte mængde af kulstoffer har, altså mængden af den akkumulerede udledning fra før den industrielle revolution til år 2010, hvor simulationen påbegyndes[3]. Beta fastsættes i modellen til $0,0018$ på baggrund af et studie, der viser, at temperaturen stiger med

[2]Bemærk her, at kulstof ikke er det samme som kuldioxid, altså CO_2. 1 ton kulstof svarer til 3,67 ton kuldioxid. I modellen påvirkes den gennemsnitlige temperaturstigning altså igennem en stigning i mængden af kulstoffer og ikke CO_2. Da forholdet imellem kulstof og kuldioxid er konstant, bør det ikke have noget at sige, hvorledes ændringer i temperaturen modelleres som en funktion af hhv. kulstof eller kuldioxid.

[3]530 milliarder tons, se bilag 6.1 for variabel værdier for simulationen

omkring $1,8°C$ pr. 1.000 milliarder tons udledte kulstoffer [Matthews et al., 2009, s. 829-830]. Det andet term $\beta \sum_{i=1}^{t} E_i$ angiver effekten på den globale temperatur til enhver tid t, som skyldes yderligere udledning af kulstoffer efter år 2010[4]. Betragtes udviklingen i udledning af kulstoffer og den gennemsnitlige temperaturstigning på verdensplan i kontekst af simulationen, fremkommer resultaterne vist i figur 2.4.



Figur 2.4. Figuren viser den simulerede udvikling i den kumulative udledning af kulstoffer samt stigningen i den gennemsnitlige verdenstemperatur, der tager udgangspunkt i ligning 2.12.
Kilde: Egne simulationer pba. [Tsigaris og Wood, 2016]. Se bilag 6.1.

Resultatet af simulationen, som fremgår i figur 2.4, viser den estimerede sammenhæng, der er imellem udledning af kulstoffer og den gennemsnitlige temperaturstigning. Figuren viser samtidigt to centrale pointer. Den første pointe er, at hvis udviklingen forsætter som angivet ud fra simulationen, vil verdenstemperaturen ramme en stigning på $2°C$ i år 2048 ved en udledning på 1.111 milliarder tons af kulstoffer. Den anden pointe, som figuren fremhæver, er, at den gennemsnitlige verdenstemperatur vil være steget med 4 grader i år 2100, hvilket er klassificeret som et farligt højt niveau, der vil have seriøse implikationer for mange lande [The World Bank, 2012].

Nogle økonomer vil måske med udgangspunkt i figur 2.3 tillade sig at argumentere for, at der nok skal komme kontrol over udledningen af CO_2 naturligt, uden det kræver en aktiv klimapolitik. Men ud fra simulationen vil punktet, hvor CO_2-udledningen begynder at falde, først rammes i år 2080[5]. Tilsvarende vil den gennemsnitlige verdenstemperatur ud fra figur 2.4 være steget med $3,23°C$ i år 2080, og derfor ligge væsentligt over stigningsgrænsen på $2°C$, som blev fastsat ved Parisaftalen. Denne stigning i den gennemsnitlige verdenstemperatur vil som udgangspunkt være irreversibel, og det vil ikke være muligt at gøre op for skaden på et senere tidspunkt.

[4]Det er vigtigt at bemærke at CO_2 ikke er den eneste synder til den globale opvarmning. Andre gasser er ligeledes med til at påvirke at den gennemsnitlige verdenstemperatur stiger. CO_2 er dog den største synder, og anvendes derfor primært i IAM-modeller.

[5]Knækket er ikke nok, udledning skal ramme nul!

2.1.2 Klimapolitik i den simple klima Solow-model

Fordelen ved at anvende IAM-modeller herunder den simple klima Solow-model er, at der kan foretages cost-benefit-analyser på simulationer af klimapolitikker, som kan bruges til at vurdere, hvorledes forskellige klimapolitiske strategier vil være cost effective, og hvorledes de er profitable at gennemføre. For at udføre en cost-benefit-analyse er det nødvendigt at have et veldefineret mål for, hvad det er, der skal opnås igennem den førte klimapolitik [Tsigaris og Wood, 2016, s. 75]. Det kan være en fastsættelse af en øvre grænse for, hvad den gennemsnitlige verdenstemperatur må stige, som fx fastsat ved COP16 i 2010, hvor de deltagende lande blev enige om et langsigtet mål, der lød på at begrænse stigningen i den gennemsnitlige verdenstemperatur til at være under 2°C [UNFCC, 2011]. Det kan alternativt også være et mål om CO_2-neutralitet i 2050, som fx er Europa Kommissionens langsigtede mål [Europa Kommissionen, a]. Hvad der er fælles for disse to mål, er, at der fastsættes en grænse for, hvor meget CO_2-udledning, der må foretages.

Ved hjælp af den simple klima Solow-model kan det illustreres, hvordan det er muligt at fremhæve omkostningerne og gevinsterne, som er forbundet ved et veldefineret mål for den fremtidige udledning af forurening. Dette gøres operationelt ved at sammenligne baseline situationen, defineret som busniess-as-usual, med forskellige scenarier udtrykt som forskellige klimapolitiske strategier. For at kunne foretage en cost-benefit-analyse antages det, at målet med den klimapolitiske strategi er at begrænse den gennemsnitlige verdens temperaturstigning til under 2°C. For at opnå dette mål, med udgangspunkt i den simple klima Solow-model, må den kumulative udledning af kulstoffer ikke overstige 1.111 milliarder tons baseret på ligning 2.12 jf. figur 2.4. Hvis den kumulative udledning overstiger dette niveau, så vil det ifølge modellen resultere i, at den gennemsnitlige verdenstemperatur stiger med mere end 2°C.

Et udtryk for den klimapolitiske strategi, som muliggør en begrænsning af udledning af CO_2, kan tilføjes til modellen. Dette udtryk kan anses som værende en CO_2-reducerende sti, og derigennem som en CO_2-reducerende rate, der udtrykker ved, hvilken rate, som udledning skal reduceres med til tiden t:

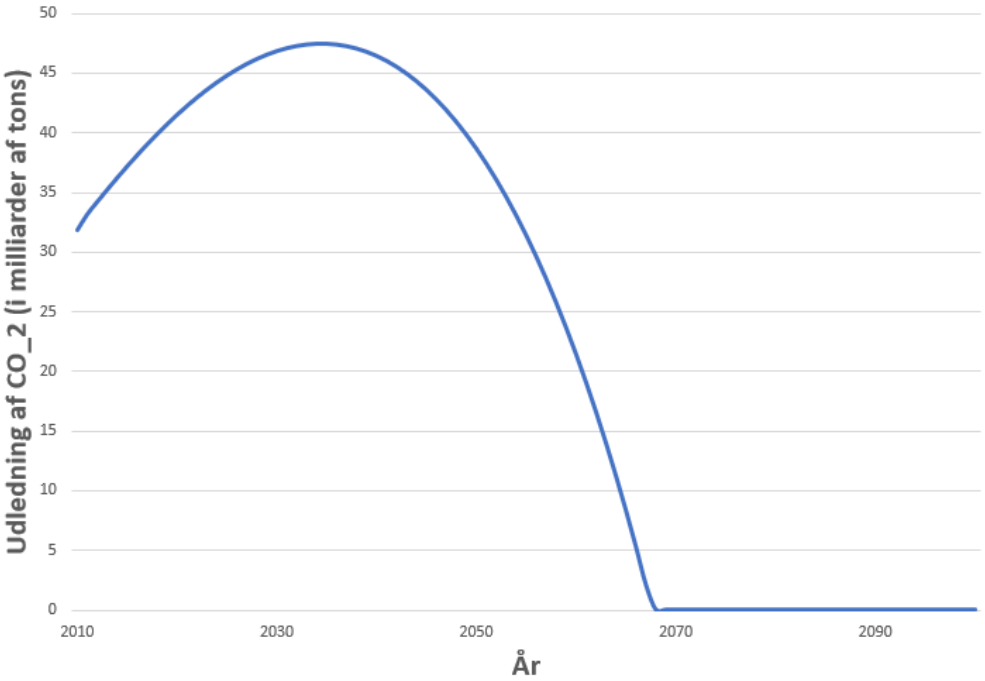
$$M_t = M_{t-1}(1 + m) \tag{2.13}$$

M_t er derfor et udtryk for denne CO_2-reducerende rate, der består af M_{t-1}, som udtrykker raten i sidste periode, og m der udtrykker vækstraten i den CO_2-reducerende rate over tid. Niveauet for m er et udtryk for, hvor stram klimapolitikken er. Jo højere m og derigennem M_t desto mere stram er klimapolitikken og desto hurtigere skal udledningen af CO_2 reduceres [Tsigaris og Wood, 2016, s. 75]. Den CO_2-reducerende rate indsættes i modellen i udtrykket for udledningen af CO_2 til tiden t:

$$E_t = (1 - M_t)\sigma_t Y_t \tag{2.14}$$

For at illustrere, hvordan klimapolitikken kunne foretages, og hvordan klimapolitikken operationelt påvirker modellen, foretages der en simulation. I denne forbindelse antages det, at i år 2010 var udgangspunktet for reduktionen $M_0 = 9\%$, og denne reduktion skulle fremadrettet øges med $m = 4,267\%$ om året [Tsigaris og Wood, 2016, s. 75]. Det betyder derfor at den CO_2-reducerende rate i år 2010 er $M_0 = 9\%$, i år 2011 er den $M_1 = 9,3\%$, og i

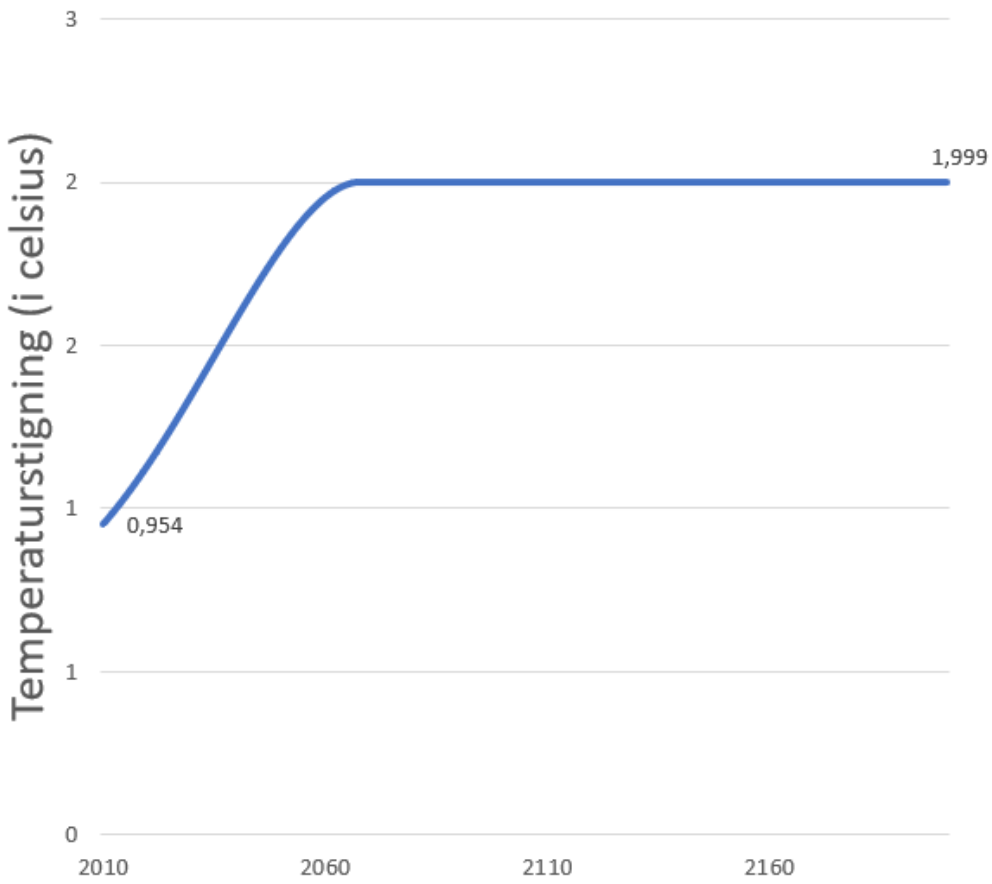
år 2012 er den $M_2 = 9,7\%$ osv.. Værdierne for hhv. M_0 og m er arbitrære, og anvendes blot som en illustration. Når disse værdier indsættes i simulationen, hvor resultaterne fremgår i bilag 6.2, reduceres den årlige udledning af CO_2.



Figur 2.5. Figuren viser resultaterne af simulationen af den årlige udledning af CO_2 med en klimapolitik, hvor $M_0 = 0,09$ og $m = 0,04267$.
Kilde: Egne simulationer pba. [Tsigaris og Wood, 2016]. Se bilag 6.2.

Effekten af denne simulerede klimapolitik på den årlige udledning af CO_2 fremgår i figur 2.5, hvor det ses, at den årlige udledning vil toppe i år 2034. Herefter vil den årlige udledning blive reduceret frem imod år 2067, hvor udledningen året efter vil være lig nul. I dette scenarie med denne klimapolitik vil toppunktet for udledningen af CO_2 udgøre $47,4$ milliarder tons, hvor tilfældet ved figur 2.2 (B), som viste udledningen af CO_2 ved business-as-usual, svarede toppunktet for udledning af CO_2 til $80,4$ milliarder tons. I simulationen af denne arbitrære klimapolitik vil den kumulative udledning af kulstoffer[6] udgøre 1.110 milliarder tons i år 2068. Dette ligger under niveauet på 1.111 milliarder tons, der ville svare til, at den gennemsnitlige verdenstemperatur ville stige med lige under 2°C i simulationen, hvilket fremgår i figur 2.6. Det betyder derfor ifølge simulationen, at denne klimapolitik vil resultere i, at verdenstemperaturstigningen holdes på under 2°C, som fastsat ved COP16.

[6]Bemærk: Her henvises der til kulstof og ikke kuldioxid



Figur 2.6. Figuren viser resultaterne af simulationen af effekten på den gennemsnitlige verdenstemperatur med en klimapolitik, hvor $M_0 = 0,09$ og $m = 0,04267$.
Kilde: Egne simulationer pba. [Tsigaris og Wood, 2016]. Se bilag 6.2.

En reducering i den årlige udledning af CO_2 til nul, og derigennem en begrænsning i den gennemsnitlige verdenstemperatursstigning vil reducere de klimatiske skader for de fremtidige generationer. Men klimapolitikken, der vil muliggøre dette, er forbundet med omkostninger. For at finde et udtryk for de direkte omkostninger ved at reducere udledningen af CO_2 anvendes den såkaldte konvekse reduktionsomkostningsfunktion, der ligeledes anvendes af Nordhaus i DICE-modellen [Nordhaus og Sztorc, 2013, s. 12]:

$$AC_t = \Omega_t M_t^2 \tag{2.15}$$

Reduktionsomkostningsfunktionen består af $\Omega_0 = 0,06$, som er en koefficient, der falder over tid, med samme rate, som teknologien vækster, dvs. med raten $-g_{A,t}$. Ω_t er derfor et udtryk for, at omkostningerne ved at reducere udledningen af CO_2 er faldende over tid. Dette er et resultat af, at der udvikles nye produktionsteknikker, på baggrund af teknologiske fremskridt, der udleder mindre CO_2, når der produceres. M_t^2 er den CO_2-reducerende rate opløftet i anden. Årsagen til, at den opløftes i anden, er, at omkostningerne ved at mindske udledningen af CO_2 er stigende med mere, end 1:1, eftersom at det i starten er lettere at reducere udledningen. Dette kan sammenlignes med konceptet med lavt hængende frugter, hvor det bliver mere og mere omkostningsfuldt jo længere oppe i træet frugterne hænger, på samme måde bliver det mere og mere omkostningsfuldt, når udledningen skal reduceres yderligere, da det bliver mere kompliceret

at reducere den sidste udledningen. Output pr. arbejder funktionen, hvor omkostningerne ved reduceringen af udledningen er fratrukket til tiden t, opgøres som:

$$cy_t = (1 - AC_t)D_t A_t K_{ss,t}^{\alpha} \tag{2.16}$$

2.1.3 Cost-benefit-analyse

Generelt når det skal vurderes, hvorledes et policy-forslag er profitabelt at gennemføre, anvendes en cost-benefit-analyse. Denne tager følgende formel:

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \tag{2.17}$$

Hvor B_t er benefits til tiden t, C_t er costs til tiden t og r er diskonteringsrenten. Ovenstående ligning udtrykker nettofordelene udtrykt i nutidsværdi [Thomas og Chindarka, 2019, s. 78]. Når de samlede nettofordele for perioden, som undersøges, skal opgøres, gøres det ved at summere nettofordelene ved hver enkelt periode således:

$$\frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \frac{B_3 - C_3}{(1+r)^3} + \cdots + \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \tag{2.18}$$

For at foretage cost-benefit-analysen af en klimapolitisk strategi i den simple klima Solow-model er det nødvendigt først at forklare, hvordan omkostningerne og gevinsterne måles af den klimapolitiske strategi. Gevinsterne opgøres som output pr. arbejder i simulationen af modellen med klimapolitikken, py_t, fratrukket output pr. arbejder i simulationen af busniess-as-usual, by_t.

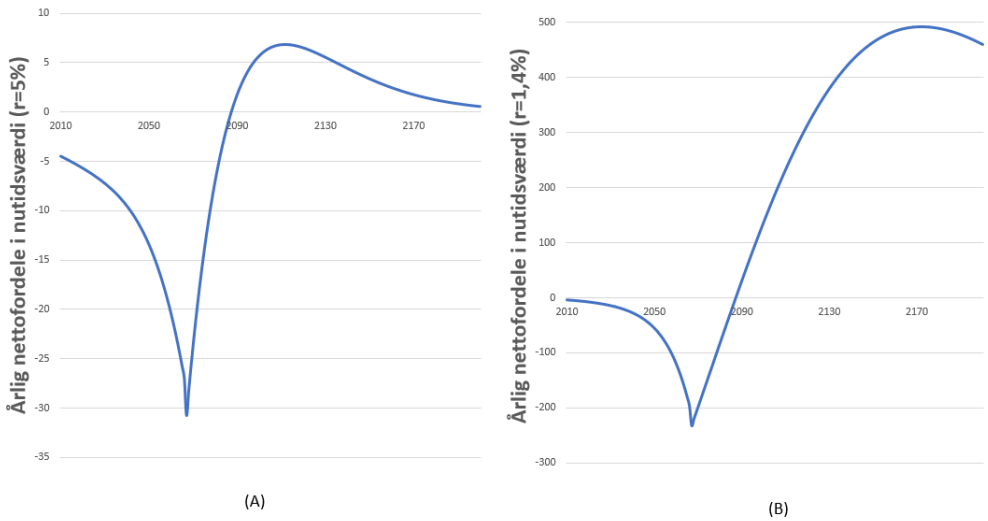
Omkostningerne opgøres som output pr. arbejder i simulationen af modellen med klimapolitikken, py_t, fratrukket output pr. arbejder funktionen, hvor omkostningerne er fratrukket, cy_t, dvs. ligning 2.16. Udtrykket for nettofordelene i periode t er derfor:

$$\frac{(py_t - by_t) - (py_t - cy_t)}{(1+r)^t} = \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \tag{2.19}$$

For at vælge mellem klimapolitiske strategier for reduktion af udledning af CO_2 skal fremtidige omkostninger og gevinster diskonteres til nutidsværdier, dette gøres igennem r, som er diskonteringsrenten. På denne måde bliver fremtidige værdier omsat til nutidsværdier. Ud fra et økonomisk perspektiv vil den klimapolitik, som giver den højeste nutidsværdi, være at foretrække. Hvis nutidsværdien er negativ, vil det ikke være fordelagtigt at gennemføre den klimapolitiske strategi, hvorimod at hvis nutidsværdien er positiv, vil det være fordelagtigt.

Valget af en passende diskonteringsrente er vigtig i forbindelse med valget af en klimapolitik, da de fleste effekter af politikken først finder sted langt ude i fremtiden. I fastsættelsen af den anvendte diskonteringsrente i fx DICE-modellen estimeres markedsafkastet på kapital, som værende diskonteringsrenten, hvilket er estimeret til i gennemsnit at være $3,5-4\%$ om året over de næste hundrede år. Denne diskonteringsrente er høj, da Nordhaus mener, at investeringer i reduktionen af fremtidige klimaskader på fx afgrøder bør konkurrere med afkastet af investeringer i bedre frø, bedre produktionsudstyr

og andre højudbytteinvesteringer. Jo højere diskonteringsrente, desto mindre effekt vil den fremtidige skade have, og desto mindre vil incitamentet være til at reducere udledningen af CO_2 i dag [Nordhaus, 2008, s. 9-11]. For at illustrere effekten af forskellige diskonteringsrenter anvendes en diskonteringsrente på 5% og $1,4\%$ i figur 2.7 på nettofordelene af den arbitrære klimapolitik, der simuleres. Disse værdier fremgår i bilag 6.2.1.



Figur 2.7. Figuren viser nettofordelene ved simulationen med en klimapolitik, hvor $M_0 = 0,09$ og $m = 0,04267$. (A) viser de årlige nettofordele ved en diskonteringsrente på 5%. (B) viser de årlige nettofordele ved en diskonteringsrente på $1,4\%$. Bemærk forskellige akseværdier, eftersom at en lavere diskonteringsrente giver meget højere værdier. Se bilag 6.2.1.
Kilde: Egne simulationer pba. [Tsigaris og Wood, 2016].

Summeres alle nettofordelene ved en diskonteringsrente på 5%, bliver nutidsværdien af klimapolitikken, svarende til $-488\$$ pr. arbejder. Hvis diskonteringsrenten derimod fastsættes til $1,4\%$, bliver nutidsværdien af klimapolitikken, svarende til 36.671$ pr. arbejder, se bilag 6.2.1. Dette illustrerer derfor betydningen af diskonteringsrenten, når det skal fastsættes, hvorledes en klimapolitisk strategi er en fordel eller ej ud fra en cost-benefit-analyse. Et andet centralt element, der afgør, hvorledes det er fordelagtigt at gennemføre klimapolitikken, er tidshorisonten, som nettofordelene måles over. Den optimale klimapolitik, den politik, hvor nettofordelene maksimeres, afhænger derfor af, hvilken diskonteringsrente der anvendes, og tidsperioden som nettofordelene måles over.

En anden interessant pointe ud fra figur 2.7 er, at ved begge diskonteringsrenter observeres det, at de årlige nettofordele lider af et trade-off imellem de generationer, som bliver ramt af omkostningerne ved reduktionen i udledningen af CO_2 og de generationer, der får fordel af de fremtidige lavere temperaturstigninger.

2.1.4 Den samfundsøkonomiske diskonteringsrente

Diskonteringsrentens størrelse spiller en meget central rolle i vurderingen af, hvordan den fremtidige klimapolitik bør sammensættes, og den kan defineres som værende en dominerende beslutningsvariabel. Dette fremgik bl.a. af den simulerede figur 2.7, der viste,

hvordan en investering i en bæredygtig fremtid igennem en klimapolitik, der reducerer udledning af CO_2, kan gå fra at have en meget positiv nutidsværdi, til en negativ nutidsværdi, når diskonteringsrenten øges. Det åbner derfor op for en diskussion af diskonteringsrenten, og hvordan den fastsættes, da den spiller, en central rolle i forhold til, hvor hurtigt økonomien kan omstilles til at blive mere bæredygtig, og hvor hurtigt de klimapolitiske mål kan opnås.

Når den økonomiske litteratur betragtes i forbindelse med fastsættelsen af diskonteringsrenten, observeres det, at der er stor uenighed om, hvad diskonteringsrenten bør fastsættes til. En ting, der dog er fælles i forbindelse med fastsættelsen af diskonteringsrenten i de fleste tilfælde[7], er at Ramsey-betingelsen bruges som et værktøj til teoretisk at fastsætte diskonteringsrenten med:

$$r = \rho + \mu g \tag{2.20}$$

I Ramsey-betingelsen angiver r diskonteringsrenten, ρ angiver forbrugernes tidspræferencerate, som udtrykker, hvor meget fremtidig nytte vægtes i forhold til nutidigt. μ angiver præferencen for forbrugsudglatning, udtrykt som grænsenytteelasticitet, og g angiver forbrugsvæksten pr. capita [Finansministeriet, 2021, s. 3].

Kilde:	Præferencerate (ρ)	Grænsenytte (μ)	Forbrugsvækst (g)	Diskonteringsrente (r)
Stern (2007)	0,1	1	1,3	1,4
Quiggin (2006)	0	1	1,5	1,5
Cline (1993)	0	1,5	1	1,5
Garnaut (2008)	0	1-2	1,3	1,3-2,6
HM Treasury (2003)	1,5	1	2	3,5
Nordhaus (2018)				3,5
Gollier (2006)	0	2-4	1,3	2,6-5,2
Weitzman (2007)	2	2	2	6
Arrow (2007)	0	2-3	1-2	2-6
Dasgupta (2006)	0	2-4	1-2	2-8

Tabel 2.1. Forskellige diskonteringsrenter udledt ud fra Ramsey-betingelsen.
Kilder: [Harrison, 2010] & [Nordhaus, 2008].

I ovenstående tabel fremgår forskellige økonomers og det britiske finansministeries bud på, hvad diskonteringsrenten bør fastsættes til, hvilket varierer meget fra $1,4\%$ som den laveste til 8% som den højeste. Yderligere kan det fremhæves, at Europa Kommissionen anbefaler, at der bruges en diskonteringsrente på $3-5\%$ for dets medlemslande [Europa Komissionen, 2015, s. 50]. Dette giver derfor udtryk for, at der ikke er en generel konsensus om, hvad diskonteringsrenten bør fastsættes til. Det er problematisk, at der er så meget usikkerhed omkring fastsættelsen af en dominerende beslutningsvariabel i cost-benefit-analysen.

I dansk kontekst, når der foretages enhver type af offentlige investeringer, fx miljø- og klimainvesteringer, anbefaler finansministeriet, at den såkaldte samfundsøkonomiske diskonteringsrente anvendes til at vurdere, hvorledes investeringerne er profitable eller ej. Denne diskonteringsrente anbefales, da finansministeriet mener, at det i praksis er mere hensigtsmæssigt at anvende den samme diskonteringsrente uanset projekttype, da det tillader, at alle samfundsøkonomiske analyser på tværs af projekter og områder kan

[7] Finansministeriet bruger også Ramsey-betingelsen, til at fastsætte den risikofrie realrente, som er en den af den samfundsøkonomiske diskonteringsrente

sammenlignes. Det giver altså mulighed for et konsistent sammenligningsgrundlag til allokeringen af samfundets knappe ressourcer [Finansministeriet, 2018, s. 1]. Dette i sig selv kan give anledning til en diskussion af, hvorledes alle typer af projekter overhovedet bør vurderes ud fra de samme kriterier, da der er forskel på projekternes implikationer. Hvorfor bør investeringer i opførelsen af et nyt kulturcenter, som kan opfattes som et luksusgode, sammenlignes med investeringer i klimaet, som kan opfattes som et nødvendighedsgode for menneskehedens fremtidige overlevelse?

Den samfundsøkonomiske reale diskonteringsrente			**2018**
	0-35 år	36-70 år	>70 år
Real diskonteringsrente	**4 pct.**	**3 pct.**	**2 pct.**
Risikofri realrente	2,5 pct.	2,25 pct.	2 pct.
Risikopræmie	1,5 pct.	0,75 pct.	0 pct.

Den opdaterede samfundsøkonomiske reale diskonteringsrente			**2021**
	0-35 år	36-70 år	>70 år
Real diskonteringsrente	**3,5 pct.**	**2,5 pct.**	**1,5 pct.**
Risikofri realrente	2 pct.	1,75 pct.	1,5 pct.
Risikopræmie	1,5 pct.	0,75 pct.	0 pct.

Tabel 2.2. Den anbefalede samfundsøkonomiske diskonteringsrente i hhv. 2018 og 2021. Kilde: [Finansministeriet, 2018] og [Finansministeriet, 2021].

Den seneste anbefalede samfundsøkonomiske diskonteringsrente af finansministeriet lød på $3,5\%$ i 2021 [Finansministeriet, 2021, s. 1]. Dette niveau for diskonteringsrenten er højt, hvilket er problematisk, når investeringer i fremtiden skal overvejes, da jo højere diskonteringsrente, desto mindre vægtes effekten af de fremtidige skader, forstået som klimaforandringerne. Dog er diskonteringsrenten på $3,5\%$ en nedjustering i forhold til 2018, hvor finansministeriet fastsatte diskonteringsrenten til 4% [Finansministeriet, 2018, s. 1].

Som det fremgår ovenfor, så er diskonteringsrenten blevet nedjusteret med en halv procent, hvilket er sket i forbindelse med udgivelsen af *DK2025 – en grøn, retfærdig og ansvarlig genopretning af dansk økonomi, august 2020*. Det har resulteret i, at Danmark er et af de lande, der har den hurtigst faldende diskonteringsrente i international sammenhæng [Finansministeriet, 2021, s. 2]. Den nu lavere diskonteringsrente forventes at have en positiv effekt på projekter, hvor gevinsterne af projektet først befinder sig langt ude i fremtiden. Hvilket fx er tilfældet, for langt de fleste klimaprojekter, hvor omkostningerne forekommer i starten af perioden, imens, at gevinsterne i form af reduceret drivhusgasudledning først forfalder på længere sigt. Spørgsmålet er dog imidlertid, om den samfundsøkonomiske diskonteringsrente stadigvæk fastsættes for højt. Finansministeriet tilkendegiver, at den samfundsøkonomiske diskonteringsrente ikke er en størrelse, der kan observeres, samtidigt med at der ikke findes en entydig konsensus om, hvilken metode der skal anvendes til at fastsætte den samfundsøkonomiske diskonteringsrente med, og derved er der også en del usikkerhed forbundet ved fastsættelsen i dansk kontekst [Finansministeriet, 2021, s. 1].

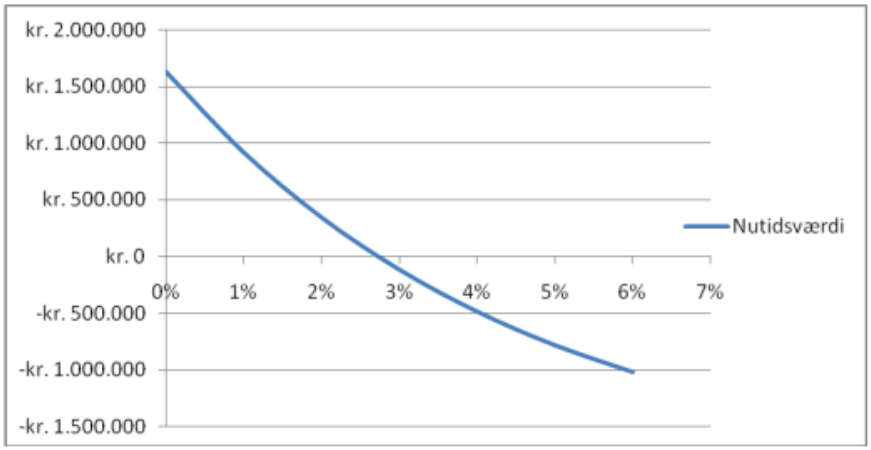
Den samfundsøkonomiske diskonteringsrente er specielt høj, når det overvejes, at denne diskonteringsrente ikke er lig, den rente, som staten kan låne til, der ligger meget tæt på nul selv ved lån med en løbetid på 30 år [Jespersen, 2019, s. 26-28]. Det høje krav til afkast på offentlige investeringer vil føre til en underinvestering i den bæredygtige omstilling, da denne type af investeringer vil fremstå som en underskudsforretning for

staten og derved, ikke være profitabel ved den nuværende diskonteringsrente. De nutidige generationers incitament til at foretage investeringer i fremtidens generationer afhænger derfor i høj grad af, hvad den samfundsøkonomiske diskonteringsrente fastsættes til.

> "A society grows great when old men plant trees in whose shade they know they shall never sit in". - *Ukendt græsk filosof.*

Jo højere krav, der sættes til afkastet på de offentlige investeringer, desto mindre vil der blive investeret i den bæredygtige omstilling, hvilket vil være med til at øge risikoen for en reduceret fremtidig økonomisk vækst. Denne risiko vil øges, da klimaforandringerne ikke kommer under kontrol, hvilket vil skade fremtidens vækstpotentiale.

En investering i havvindmøller kan bruges som et eksempel til yderligere at illustrere, at hvis diskonteringsrenten fastsættes for højt, så vil det resultere i, at investeringen ikke foretages.



Figur 2.8. Figuren viser diskonteringsrentens betydning for, om der investeres i havvindmøller eller ej.
Kilde: [Concito, 2011]

Af figur 2.8 fremgår det, at hvis diskonteringsrenten fastsættes til 0%, så vil investeringen resultere i en positiv nutidsværdi på over $1,5$ millioner kr. Omvendt, hvis diskonteringsrenten fastsættes til 6%, så vil det resultere i, at investeringen leder til en negativ nutidsværdi på 1 million kr. Dette er endnu et eksempel på, at diskonteringsrenten er en dominerende beslutningsvariabel i den bæredygtige omstilling.

Når det vurderes ud fra en cost-benefit-analyse om, hvorledes det er profitabelt at gennemføre en klimapolitik, så vurderes det typisk kun ud fra de direkte afledte økonomiske konsekvenser. Men til dette kan det yderligere overvejes, hvorledes investeringer i den bæredygtige omstilling kan være med til at reducere risikoen for et fremtidigt, totalt kollaps af økonomien og velfærden, hvilket vil være en såkaldt skyggepris (omkostning), hvis den klimapolitiske strategi ikke er tilstrækkelig. Hvis dette gør sig gældende, vil denne effekt skulle indgå som et fradrag til det krævede afkast på investeringer, og hvis effekten af denne skyggepris er høj nok, vil det tilmed kunne resultere i, at der skulle anvendes en

negativ samfundsøkonomisk diskonteringsrente, når der foretages cost-benefit-analyser af miljø- og klimainvesteringer [Jespersen, 2019, s. 26-28].

Dette underafsnit leder op til spørgsmålet om, hvad den samfundsøkonomiske diskonteringsrente bør fastsættes til. Det er der ikke et entydigt svar på, som litteraturen også viser, men en ting er tydeligt; jo lavere diskonteringsrenten fastsættes, jo flere investeringer, vil der foretages i den bæredygtige omstilling, hvilket er bedre for både klimaet og økonomien på lang sigt.

2.1.5 Kort opsamling

Selvom den simple klima Solow-model er en simpel fremstilling af en vækstmodel, hvor klima er inkorporeret, fremhæver modellen alligevel de centrale pointer og problemstillinger, der opstår i forbindelse med den økonomiske væksts konsekvenser for klimaet. Derudover illustrerer den betydningen af diskonteringsrenten, når der udføres cost-benefit-analyser på, hvorledes forskellige klimapolitiske strategier er fordelagtige eller ej. Modellen kan udvides til at være mere kompleks, men dens fordele opstår i dens simpelhed. Styrken ved denne IAM-model er, at dens hovedkonklusioner lægger sig tæt op ad den mere komplekse DICE-models hovedkonklusioner.

2.2 DICE-modellen

Dynamic Integrated model of Climate and Economy (DICE) er en anden IAM model, som er udviklet af William Nordhaus. Dette er en neoklassisk vækstmodel, som er mere kompleks end den simple klima Solow-model. Outputtet i DICE-modellen bestemmes ud fra en kombination af kapital, arbejdskraft og teknologi ligesom var tilfældet for den simple klima Solow-model. Opsparingsraten i DICE-modellen er endogeniseret, da det antages, at husholdningerne nyttemaksimerer forbruget igennem en nyttefunktion, hvilket er en modsætning til den simple klima Solow-model, hvor opsparingsraten antages at være konstant og bestemt eksogent. DICE-modellen er opbygget ud fra Ramsey-Cass-Koopman modellen, som er en videreudvikling af Solow modellen. DICE-modellen adskiller sig fra den originale Ramsey-Cass-Koopman model ved at integrere klima i modellen. Ud over dette fokuserer Nordhaus på effekterne af CO_2-udledningen, de økonomiske påvirkninger og skaderne, som opstår på baggrund af denne udledning [Sørensen, 2020, s. 124].

DICE-modellen blev udviklet med henblik på at kunne analysere de klimaøkonomiske spørgsmål. Dette gøres, ved at modellen sammenkobler de faktorer, som påvirker den økonomiske vækst, CO_2-udledning, kulstofkredsløbet, klimaforandringerne, klimatiske skader og klimapolitikker. Modellens ligninger er bygget op omkring forskellige fagområder, såsom økonomi, økologi og geovidenskab. DICE-modellen estimerer klimaforandringerne, der opstår som et resultat af den økonomiske vækst [Nordhaus, 2008, s. 4]. DICE-modellen indeholder en repræsentation af hver af de vigtigste komponenter, der er nødvendige for at forstå klimaforandringerne i de kommende årtier. Hver komponent er en underliggende model, som trækker på forskningen indenfor sit tilhørende område. Klimamodulet i modellen fremskriver fx klimaforandringer, som en funktion af drivhusgasemissioner og effekterne af disse på modellen, modelleres igennem effektmodulet, der er baseret på empiriske undersøgelser af effekterne af klimaforandringerne, som trækker på mange

undersøgelser [Nordhaus, 2008, s. 8]. DICE-modellen er en global model, som samler de forskellige lande til et enkelt outputsniveau, en kapitalbeholdning, et teknologiniveau og en samlet udledning af drivhusgasser, derfor er estimaterne for de globale aggregater bygget op af data, som inkluderer alle større lande [Nordhaus, 2008, s. 33].

Output bliver i modellen anvendt til forbrug og opsparing, som er med til at akkumulere ny kapital. Det antages i modellen, at stigninger i den globale gennemsnitstemperatur har en negativ påvirkning på produktionen og derigennem forbrugsmulighederne. Dette er bl.a., fordi det påvirker produktionen i landbrugssektoren. Disse negative påvirkninger bliver indfanget i en skadesfunktion i modellen[8], altså en funktion, der beskriver, hvordan en stigning i den globale temperatur vil mindske produktionen [DØRS, 2015, s. 252]. De negative påvirkninger bliver opfanget i DICE-modellen gennem 'naturlig kapital'. Med andre ord kan koncentrationen af drivhusgasser ses som en negativ naturlig kapital, og reduktion i udledning heraf kan ses som en investering, som øger mængden af naturlig kapital. Ved at afsætte output til reduktion af udledning vil forbruget blive reduceret i dag, men det vil forhindre skadelige klimaforandringer, og dermed vil det øge forbrugsmulighederne i fremtiden [Nordhaus, 2008, s. 32]. Nogle variable i DICE-modellen bliver betragtet som givne for hvert land i verden ud fra empiriske observationer, dette indebærer; befolkning, beholdning af fossile brændstoffer og tempoet i teknologiske udvikling. De fleste centrale variable i modellen er endogene eller genererede i modellen [Nordhaus, 2008, s. 7].

I DICE-modellen antages det, at verden har et veldefineret sæt af præferencer, som er repræsenteret af en 'social velfærds funktion', som rangerer forskellige forbrugsveje. Den sociale velfærds funktion er stigende i forbrug pr. capita for hver generation med aftagende marginalnytte af forbrug. Vigtigheden af en generations pr. capita forbrug afhænger af størrelsen på populationen. De forskellige generationers relative betydning påvirkes af to centrale parametre: den rene tidspræferencehastighed og forbrugselasticiteten. Disse to parametre interagerer for at bestemme diskonteringsrenten på varer, hvilket er kritisk for intertemporale økonomiske valg. I modellen sættes de to parametre til at være konsistente med observerede økonomiske resultater, som afspejles af renten og afkastet på kapital. Forbrugsvejen er indskrænket af både økonomiske og geofysiske forhold. Økonomien har to store bestemmelsesvariable i modellen: den overordnede opsparingsrate for fysisk kapital og udledningshastighedskontrol for CO_2 [Nordhaus, 2008, s. 33].

Det mest centrale ved DICE-modellen er inklusionen af flere geofysologiske forhold, som sammensætter økonomien med forskellige faktorer, som påvirker klimaforandringerne. Disse forhold inkluderer kulstofcyklus, en strålingskraftligning, klima-ændringsligninger og et forhold, der beskriver klimaskaderne. I DICE-2007-modellen er den eneste drivhusgas, som er mulig at kontrollere den industrielle CO_2, fordi CO_2 er den store bidragsyder til global opvarmning[9]. CO_2-udledning er en funktion af det totale output, en tidsvarierende emissionsintesitet og en udledningskontrolrate. Emissionsintensiten er estimeret for individuelle regioner og er derefter aggregeret til et globalt niveau. Udledningskontrolraten er bestemt ved en klimapolitik. Omkostningen ved at reducere udledningen er parametriseret af en log-lineær funktion, som er designet ud fra nyere

[8] Skadesfunktionen vil blive beskrevet i afsnit 2.2.1

[9] I senere udgaver af modellen tilføjes nogle andre drivhusgassers effekt eksogent i DICE-modellen.

undersøgelser af omkostningerne ved reduktion af udledning af CO_2 [Nordhaus, 2008, s. 35].

Den største fordel ved at bruge IAM-modeller, som DICE-modellen er, at spørgsmål om klimaforandringer kan besvares i en sammenhængende ramme. Forholdet, som sammenkobler økonomisk vækst, drivhusgasudledninger, karboncyklus, klimasystemet, effekter og skader og mulige politikker er meget kompleks. Det kan være uoverskueligt at overveje, hvordan ændringer i den ene del af systemet vil påvirke andre dele af systemet. Det kan altså være svært at vurdere, hvordan en højere økonomisk vækst vil påvirke udledning af CO_2 og derigennem temperaturen, eller hvordan en prisændring på fossilt brændstof vil påvirke klimaforandringerne. Formålet med IAM-modeller, som DICE-modellen er ikke at give et entydigt svar på disse spørgsmål, fordi det ikke er muligt at komme med et definitivt svar grundet usikkerheder omkring mange af forholdene. Disse modeller stræber i stedet efter at sikre, at svarene er internt konsistente, og i bedste fald giver en avanceret beskrivelse af virkningerne af forskellige begivenheder og klimapolitikker [Nordhaus, 2008, s. 9].

2.2.1 Modellen

Det antages også i DICE, som i Ramsey-Cass-Koopmans modellen, at husholdningerne ønsker at maksimere en nyttefunktion. Denne nyttefunktion er den diskonterede sum af nytte pr. capita forbrug og er dermed følgende:

$$\max_{c_t} W = \max_{c_t} \left[\int_0^\infty U[c_t] e^{\rho t} dt \right] \tag{2.21}$$

Som er underlagt forbrugsbegrænsningen:

$$c_t = M\left[y_t; z_t; \alpha; \varepsilon_t\right] \tag{2.22}$$

Hvor, c_t er forbruget, y_t er andre endogene variable, som fx den globale temperatur, z_t er eksogene variable, som fx befolkningen, α er parametre, som fx klimasensitivitet, ρ er raten for tidspreferencer og ε_t er tilfældige variable i stokastiske versioner af modellen [Nordhaus, 2019, s. 444].

Udviklingen i det globale output i DICE-modellen antages at følge en Cobb-Douglas produktionsfunktion, som er bestemt ud fra kapital, arbejdskraft og teknologiske ændringer.

I DICE-modellen bliver der tilføjet to omkostningsfunktioner til Cobb-Douglas produktionsfunktionen. De to omkostningsfunktioner, som DICE-modellen indeholder, er skadesomkostningsfunktionen og reduktionsomkostningsfunktionen [Nordhaus, 2008 s.41]. Skadesomkostningsfunktionen indeholder reduktionen af BNP som følge af skaderne, som opstår grundet CO_2-udledningen på samme vis, som i den simple klima Solow-model. Denne funktion vil være stigende i takt med den globale gennemsnitstemperatur. Reduktionsomkostningsfunktionen beskriver de omkostninger, som er forbundet ved at reducerer den globale udledning af CO_2. Denne funktion vil være stigende i takt med indsatsen for reduktion af CO_2-udledning på samme vis som i den simple klima Solow-model.

Produktionsfunktionen i DICE-modellen er følgende:

$$Q_t = \Omega_t[1 - \wedge_t]A_t K_t^{\gamma} L_t^{1-\gamma} \tag{2.23}$$

Hvor Ω_t repræsenter skadesfunktionsomkostningerne, og $\wedge_t$ repræsenterer reduktionsomkostningsfunktionen. Ligningerne for disse funktioner er:

$$\Omega_t = \frac{1}{[1 + \psi_1 T_t + \psi_2 T_t^2]} \tag{2.24}$$

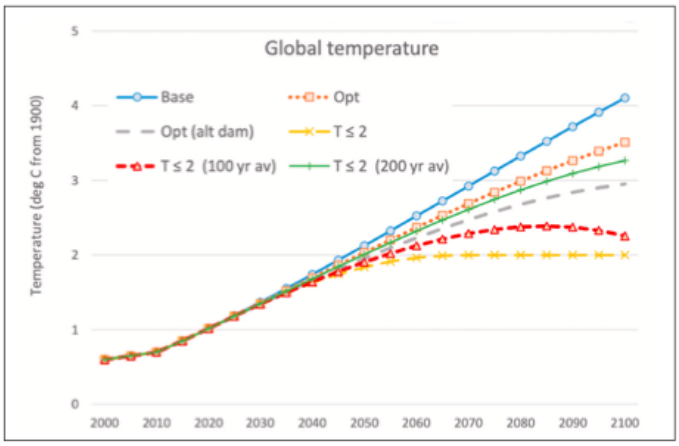
$$\wedge_t = \pi_t \theta_{1,t} \mu_t^{\theta_2} \tag{2.25}$$

Hvor ψ_1 og ψ_2 er parametrene i skadesomkostningsfunktionen, T_t er den globale gennemsnitstemperaturstigning, π_t er parametrene for kulstofkredsløbet, μ_t angiver emissionskontrolrate, som er andelen af ukontrollerede emissioner, og θ_1 og θ_2 er parametrene i reduktionsomkostningsfunktionen.

Reduktionsomkostningsfunktionen er en reduceret-form-type model, hvor omkostningerne ved at reducere udledning er en funktion af udlednings-reduktionsraten, $\mu(t)$. Reduktionsomkostningsfunktionen antager, at omkostningerne ved reduceringen er proportionale med det globale output og til en polynomial funktion af reduceringsraten. Denne er estimeret til at være meget konveks, hvilket indikerer, at den marginale omkostning ved reduktion stiger mere end 1:1, ligesom var tilfældet ved den simple klima Solow-model.

2.2.2 Resultaterne fra DICE-modellen

I Nordhaus' nobelprisforelæsning bliver nogle af resultaterne fra DICE-modellen fremstillet. Simuleringerne af DICE-modellen estimerer temperaturændringerne ud fra forskellige scenarier. De seks scenarier, som Nordhaus foretager er følgende: Et tilfælde uden klimapolitik, kendetegnet som business-as-usual (Base), et cost-benefit-optimum med standardskader (Opt) samt et alternativt sæt af skader (alt dam), hvor skaderne vægter mindre end ved standardskaderne og tre temperaturbegrænsende strategier, hvor grænsen er 2°C.

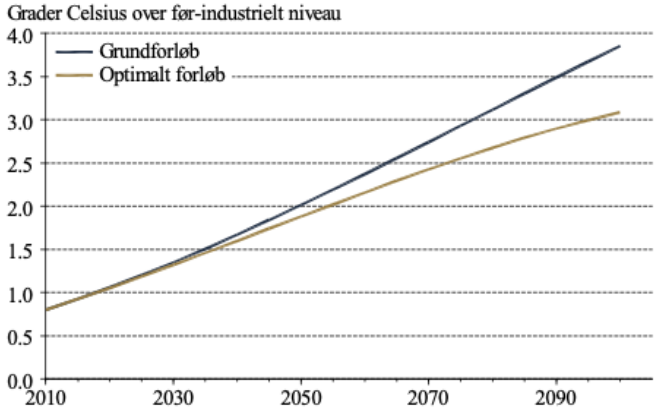


Figur 2.9. Figuren viser simuleringer foretaget i DICE-modellen af Nordhaus af temperaturstigningerne i de forskellige scenarier.
Kilde: [Nordhaus, 2019, s. 453].

Figur 2.9 viser simulationerne af de forskellige scenarier. Som det fremgår af scenariet med ingen klimapolitik, så vil temperaturen overstige 4°C i 2100. Ved scenariet med et cost-benefit-optimum, der er baseret på en diskonteringsrente på 3, 5%, vil temperaturstigningen stige til over 3°C i 2100, hvilket er højere end de internationale politiske mål. Det ses i figuren, at jo mere stram klimapolitikken er, jo mindre, vil den fremtidige temperaturstigning være.

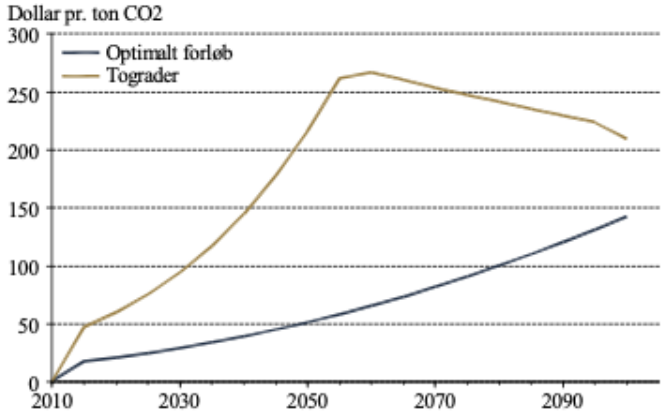
DØRS gengiver, resultaterne fra DICE-modellen, som ses i figur 2.10, hvor der fremgår to scenarier; den blå graf, som viser hvordan temperaturen vil stige, hvis ikke der bliver grebet ind og udledningen fortsættes som 'business-as-usual'. Hvorimod den brune graf viser, hvordan temperaturstigningen vil se ud i forhold til modellen og dens antagelser, hvis der bliver ført en optimal klimapolitik, forstået, som en politik, der maksimerer nettofordelene.

Som det ses i figur 2.10, så når den gennemsnitlige globale temperaturstigning i grundforløbet op på næsten 4°C over det førindustrielle niveau, mens forløbet med en optimal klimapolitik opnår en gennemsnitlig global temperaturstigning på lige over 3°C over det førindustrielle niveau. I begge tilfælde overstiger den gennemsnitlige globale temperaturstigning de 2°C.



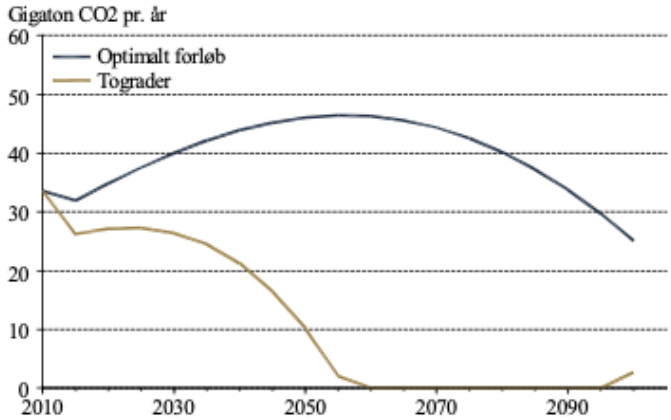
Figur 2.10. Figuren viser simulationen af udviklingen i den gennemsnitlige temperatur i de to scenarier.
Kilde: [DØRS, 2015 s. 258].

DØRS gengiver derfor også resultater fra DICE-modellen, hvor der globalt set bliver ført en klimapolitik, som sikrer, at den gennemsnitlige temperaturstigning fra det førindustrielle niveau ikke overstiger de 2°C. Forløbet med en maksimal temperaturstigning på 2°C, vil ifølge DICE-modellen kræve, at der skal ske en stigning i CO_2-afgiften, så den er omkring 50$ pr. ton indledningvist, derefter skal afgiften yderligere gradvist hæves til et niveau, som ender over 270$ omkring år 2060, hvorefter den så vil falde igen. Denne udvikling af CO_2-udgiften er illustreret i figur 2.11, hvor CO_2-afgiftsniveauet er fremstillet for de to scenarier.



Figur 2.11. Figuren viser simulationen af udviklingen i CO_2-afgiften i de to scenarier. Kilde: [DØRS, 2015, s. 259].

Ved at føre en 2°C politik, vil udledningen af CO_2 gradvist falde mod nul i år 2060, dette bliver illustreret i figur 2.12. Her ses det, at udledningen i det forløb, hvor den globale klimapolitik er optimal, forstået som der, hvor output maksimeres, vil være stigende en periode, hvorefter den vil falde.

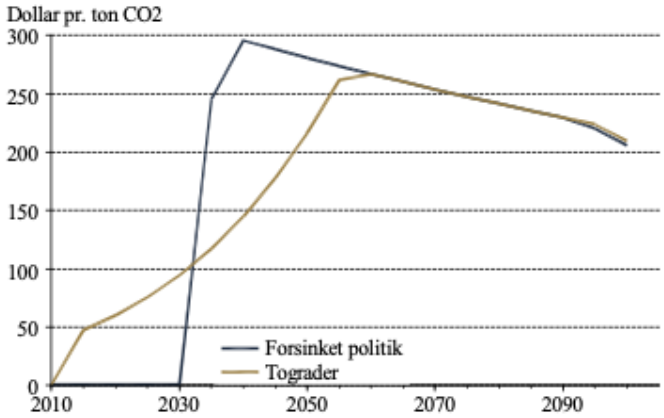


Figur 2.12. Figuren viser den simulerede udvikling i CO_2-udledning i de to scenarier. Kilde: [DØRS, 2015, s. 260].

Ovenstående figurer viser, hvordan DICE-modellen estimerer CO_2-afgiften og CO_2-udledningen ud fra et optimalt forløb samt et forløb med en klimapolitisk begrænsning af en temperaturstigning på 2°C. Der er dog nogle omkostninger forbundet ved at føre en klimapolitik, som begrænser temperaturstigningen til 2°C. Disse omkostninger er blandt andet, at produktionen pr. capita vil være ca. $2,5\%$ lavere i år 2050 end ved det optimale forløb. BNP pr. capita vil i et optimalt forløb være omkring 140% større i år 2050, end det er i år 2010. Dog vil der være sket en permanent ændring i niveauet for BNP i togradersforløbet. Fra år 2100 og fremefter vil BNP pr. capita, når klimaskaderne er fratrukket, være permanent højere i scenariet med en klimapolitik, som begrænser den gennnemsnitlige globale temperaturstigning til 2°C [DØRS, 2015, s. 260].

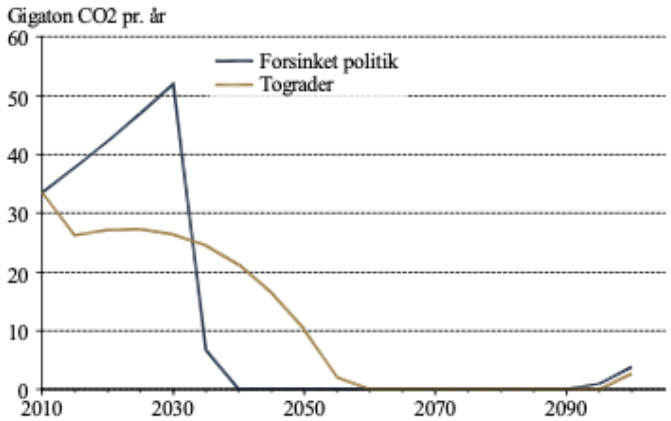
Hvis der derimod sker en forsinkelse på 20 år af den nødvendige politik, der skal til for at overholde togradersmålsætningen, skal der ske en meget kraftigere reduktion i

CO_2-udledningen ifølge DICE-modellen fra og med år 2035 for at kunne overholde togradersmålet. I dette tilfælde skal afgiften på CO_2-udledningen være ca. 250$ i år 2035 og derefter skal afgiften hurtigt justeres til 300$, hvorefter der kan ske en reduktion i de efterfølgende år. Dette er illustreret i figur 2.13, hvor det fremgår, at afgiften gradvist stiger, hvis klimapolitikken blev indført i år 2010, og ved en forsinkelse i klimapolitikken, vil afgiften stige markant på samme tid, som klimapolitikken bliver indført.



Figur 2.13. Figuren viser simulationen af udviklingen i CO_2-afgiften i de to scenarier. Kilde: [DØRS, 2015, s. 260].

Ved scenariet, hvor der er en forsinkelse i klimapolitikken, vil de årlige emissioner være steget til over 50 gigaton CO_2 i år 2035, hvorefter der vil ske en markant reduktion i udledningen grundet den stramme klimapolitik, der skal til for at undgå for høje temperaturstigninger. I figur 2.14 fremgår det, at ved en forsinket klimapolitik skal nettoudledningen af CO_2 være nul for at undgå, at den gennemsnitlige globale temperaturstigning overstiger de 2°C, hvorimod hvis klimapolitikken indføres straks, vil perioden for nul CO_2-udledning være kortere. Derudover kan det overvejes, hvorvidt det i praksis overhovedet vil være muligt at reducere udledningen så markant på så kort en tidsperiode.



Figur 2.14. Figuren viser udviklingen i CO_2-udledningen i de to scenarier. Kilde: [DØRS, 2015, s. 260].

Dermed vil tidspunktet for indførelsen af en klimapolitik have stor betydning for, hvor

stram denne klimapolitik skal være. Jo længere tid politikken udsættes, des strammere skal den være for at kunne overholde togradersmålet.

Det er vigtigt at påpege, at DICE-modellen er en deterministisk model, hvilket betyder, at modellen ikke direkte tager forbehold for de store usikkerheder, der eksisterer, omhandlende effekten, som temperaturstigningerne har på jordens økosystem. Modellen tager derfor ikke forbehold for, at der er en risiko for ekstreme klimatiske katastrofer som følge af klimaforandringerne.

2.3 Forholdet mellem økonomisk vækst og klima

Når der ses på forholdet mellem økonomisk vækst og klimaet, opstår der to forskellige problemstillinger i forhold til, hvordan økosystemet kan være med til at sætte en begrænsning for den økonomiske vækst på lang sigt. Den ene baserer sig på naturressourceforbruget, mens den anden baserer sig på forurening.

Generelt bliver der gjort brug af naturressourcer, når der skal udføres økonomiske aktiviteter. Hertil opstår et problem, da der kun findes en begrænset mængde af naturressourcer, og i takt med den vedvarende produktion, hvor der bliver brugt naturressourcer, vil der ske en reduktion i disse. Dette leder til, at det i sidste ende kan blive umuligt at opnå økonomisk vækst, og væksten dermed vil standse, fordi de nødvendige ikke-fornybare naturressourcer til produktion bliver udtømt. Dermed kan der være behov for, at der sker en substitution fra naturressourcer til menneskeskabte ressourcer.

Udover ressourceudtømning kan klimaproblemer også være med til at dæmpe den økonomiske vækst i samfundet. Den økonomiske aktivitet forurener og giver klimaproblemer, hvilket kan betyde, at det på et tidspunkt måske ikke er ønskeligt at fortsætte med den økonomiske vækst, selvom det måske stadig vil være en mulighed [DØRS, 2015, s 229]. Igen vil en mulig løsning på dette være en substitutions mulighed fra naturressourcer til menneskeskabte ressourcer. Dette kan dog være en omkostningsfuld løsning på kort sigt, men gavne den økonomiske vækst og klimaet på lang sigt.

Hvorvidt høj økonomisk vækst er ønskeligt i fremtiden, afhænger af, i hvilken grad befolkningen vil foretrække materielle goder frem for blandt andet klimapåvirkningen, der opstår ved produktion. I dette tilfælde vil rent luft, drikkevand osv. blive set som luksusgoder, og kan blive efterspurgt mere end en øget levestandard. Denne sammenhæng mellem økonomisk vækst og klimaproblemer har i flere empiriske undersøgelser vist sig at være klokkeformet. Det vil sige, at i udviklingssamfund, som har et lavt BNP-niveau, vil forureningsniveauet også være lavt. I takt med at BNP stiger i disse samfund og produktionen er voksende, så vil forureningsniveauet også være stigende til et vist punkt. Herefter vil der ske en reduktion i forureningsniveauet i takt med stigende BNP, hvilket blandt andet kan begrundes med, at ren luft og vand bliver set som en luksusgode og efterspørgslen, efter dette er højere end efterspørgslen efter materielle goder. Denne sammenhæng benævnes ofte som den Environmental Kuznets Curve (EKC) [DØRS, 2015, s. 245].

Generelt når der bliver set på økonomisk vækst i et samfund, bliver der set på nationalregnskabet og BNP-niveauet, da dette giver et billede af, hvordan samfundsøkonomien

udvikler sig. Det traditionelle nationalregnskab, og herunder det traditionelle BNP, kan give et misvisende billede af, hvordan økonomien egentlig ser ud. Dette er, fordi de negative konsekvenser af bl.a. udledning af CO_2 og andre klimaproblemer ikke bliver indregnet i det traditionelle regnskab, og der kan derfor være argumenter for, at det grønne nationalregnskab i stedet bør indføres. Nedenfor vil forskellene mellem det traditionelle og det grønne nationalregnskab blive beskrevet.

2.3.1 Det traditionelle nationalregnskab

Nationalregnskabet giver generelt en sammenhængende beskrivelse af, samt en oversigt over samfundsøkonomien og udviklingen i denne. Nationalregnskabet omfatter statistikker og regnskaber indenfor produktion, beskæftigelse og efterspørgsel, det vil sige, at det giver et overblik over aktiviteterne og udviklingen i samfundsøkonomien, herunder; BNP, det private og offentlige forbrug, investeringer samt eksporten og importen i samfundet. Det er altså et system af flere delregnskaber, baseret på makroøkonomiske størrelser, som giver et billede af økonomien, som en helhed.

I det traditionelle nationalregnskab er der udeladt beregninger af forurening og påvirkning på klimaet i forbindelse med de økonomiske aktiviteter, herunder produktion. Derudover er der også en manglende belysning på 'grøn økonomi' eller 'grøn vækst' i det traditionelle nationalregnskab [Gravgård, 2017, s. 13]. Det kan være problematisk at indregne klimaomkostningerne i nationalregnskabet, fordi det svært – nærmest umuligt – at værdiansætte klimaomkostningerne [Jespersen, 1998, s. 118]. Men disse problemer bør indregnes i nationalregnskabet, da klimaproblemerne, herunder CO_2-udledning jf. afsnit 2.2 og afsnit 2.1 har en negativ påvirkning på produktionen.

Som en udvidelse til det traditionelle nationalregnskab er begrebet, 'det grønne nationalregnskab' opstået. Dette nationalregnskab medtager de manglende oplysninger omkring forurening og påvirkning af klimaet.

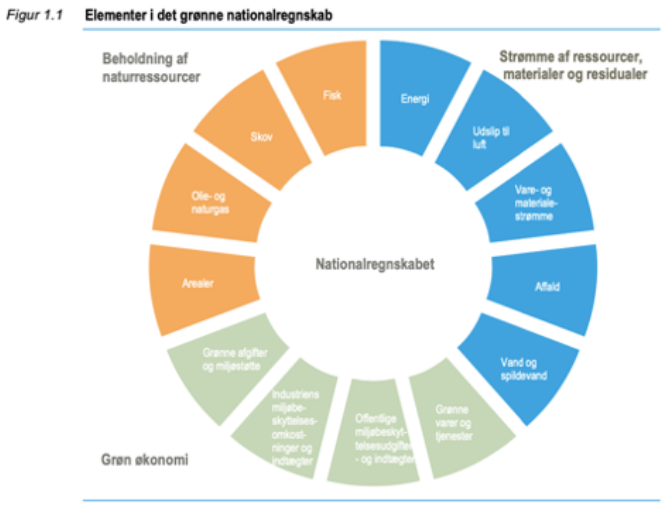
2.3.2 Det grønne nationalregnskab

Det grønne nationalregnskab kan ses som en udvidelse eller substitut til det traditionelle nationalregnskab. Her bruges de samme internationale afgrænsninger, klassifikationer samt definitioner, som der bliver brugt i det traditionelle nationalregnskab, men derudover bliver der i det grønne nationalregnskab også set på sammenhængen mellem økonomisk vækst og klima. Dette sker, ved at belastningen på klima fra produktion samt naturens betydning for økonomiske aktiviteter bliver medtaget i delregnskaber. Dermed giver det grønne nationalregnskab en bedre illustration af både den økonomiske og den klimamæssige udvikling i samfundet. Med det grønne nationalregnskab er det også muligt at undersøge, hvorvidt væksten i produktionen følges ad med klimabelastningen eller om produktionen har en mindre belastning på klimaet, og produktiviteten dermed er blevet effektiviseret ved substitutionsmetoder til produktion, som ikke belaster naturressourcerne i samme grad samt i mindre grad forurener. Derudover fremhæves den 'grønne økonomi' i det grønne nationalregnskab, hvor det bliver muligt at se særskilt på blandt andet klima- og naturressourcer. Dette er ikke muligt i det traditionelle nationalregnskab, og derfor skaber det grønne nationalregnskab en mulighed for at belyse den grønne vækst og mulighed for

at give en vurdering af samfundets beskyttelse af klimaet og bevarelse af naturressourcerne [Danmarks Statistik, a].

Det grønne nationalregnskab kan overordnet inddeles i tre hovedgrupper [Gravgård, 2017, s. 15]: 1) Strømme af materialer, ressourcer og residualer 2) Aspekter indenfor grøn økonomi (grønne afgifter, grøn produktion mv.) 3) Beholdninger af naturressourcer.

Figur 2.15 viser et diagram over de forskellige hovedgrupper i det grønne nationalregnskab, samt de elementer, som hører ind under hver hovedgruppe.



Figur 2.15. Figuren viser elementer i det grønne nationalregnskab.
Kilde: [Gravgård, 2017]

I det følgende vil de tre hovedgrupper blive uddybet:

Den første hovedgruppe, som det grønne nationalregnskabet kan inddeles i , er strømme af ressourcer, materialer og residualer. Regnskaberne for ressource-, materiale-, og residualstrømmene viser, hvordan økonomien forsynes med materialer, energi og vand gennem produktionen samt importen. Derudover viser strømmene også i hvilke dele af økonomien, herunder erhverv eller husholdninger, de bliver brugt, samt resultatet af strømmene, opgjort i vareproduktion og residualer. I det grønne nationalregnskab er residualer en betegnelse for de miljøpåvirkninger, som opstår, hvilket blandt andet er; luftforurenende stoffer, affald, drivhusgasser og spildevand. I denne hovedgruppe indgår elementer som; energi, udslip af luft, vare- og materiale strømme, affald samt vand og spildevand. For hver af disse elementer findes der et regnskab.

Hovedgruppen, 'Grøn økonomi' består af regnskaber for miljømæssige transaktioner, altså regnskaber, som er med til at belyse den grønne økonomi. Denne hovedgruppe er også en del af det traditionelle nationalregnskab, men her indgår det sammen med de 'ikke-grønne' aktiviteter, og det er derfor svært at skelne mellem, hvad der er grønne og 'ikke-grønne' økonomiske aktiviteter. Dette problem er løst i det grønne nationalregnskab, da der er særlige delregnskaber, som fremhæver grøn økonomi. I hovedgruppen 'Grøn økonomi' indgår følgende elementer; grønne afgifter og miljøstøtte, industriens miljøbeskyttelsesomkostninger og indtægter, offentlige miljøbeskyttelseudgifter

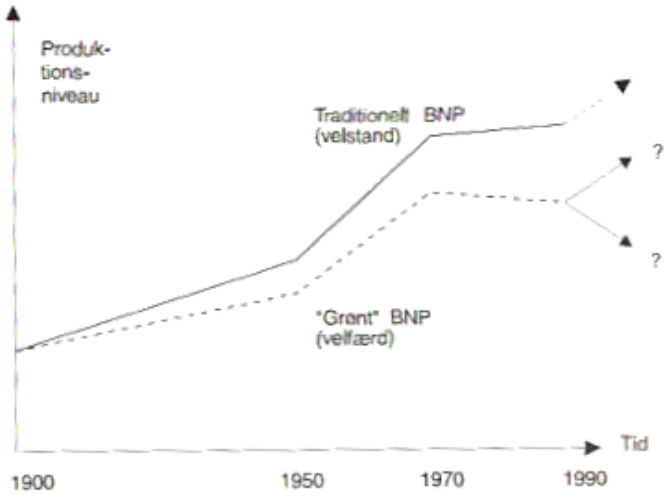
og -indtægter samt grønne varer og tjenester.

Den tredje hovedgruppe er 'Beholdninger af naturressourcer', som omhandler beholdningen af de forskellige naturressourcer og ændringerne af beholdningerne over tid. Ændringerne kan for eksempel være grundet en naturlig vækst, at der er opstået nye fund, eller der er revurderinger på området. Følgende elementer, som indgår i denne hovedgruppe er; arealer, olie- og naturgas, skov samt fisk. Dermed er elementerne i det grønne nationalregnskab opdelt i flere delregnskaber, end hvad tilfældet er i det traditionelle nationalregnskab, og derfor er det nemmere at identificere, hvilke økonomiske aktiviteter, som er grønne og 'ikke-grønne'.

2.3.3 Grønt BNP

Formålet med det grønne nationalregnskab er ikke at beregne et entydigt tal, som giver et overblik over udviklingen i de økonomiske aktiviteter samt de klimamæssige effekter heraf. Dermed er der en forskel på det grønne nationalregnskab og et 'grønt BNP', da formålet med et 'grønt BNP' er at sammenkoble de økonomiske aktiviteter og klimamæssige effekter til ét tal, hvor de klimamæssige forhold også bliver målt værdimæssigt, og dermed har en effekt på det grønne BNP. Men for at kunne beregne et grønt BNP vil det grønne nationalregnskab være et godt udgangspunkt, da mange af de værdiopgørelser, som ligger i dette regnskab, er udgangspunktet for at kunne beregne det grønne BNP.

Forskellen fra det traditionelle BNP er, at det grønne BNP også medregner de økonomiske omkostninger, der opstår ved produktion i form af ressource- og klimapåvirkninger. Dermed bliver der ikke kun set på de målbare værdier ved produktion, som der gøres ved det traditionelle BNP, men også på de påvirkninger, som der er på miljøet, og som ikke er nemt at måle i monetære størrelser [Danmarks Statistik, b].



Figur 2.16. Figuren viser en sammenligning mellem det traditionelle BNP og det grønne BNP. Kilde: [Jespersen, 1998, s. 120].

Figur 2.16 viser en sammenligning af det traditionelle og grønne BNP. Her ses det, at det grønne BNP er lavere, end det traditionelle BNP, da der i det grønne BNP bliver fratrukket brugen af naturressourcer og de klimapåvirkninger, der bliver forårsaget af produktion

[Jespersen, 1998 s 119]. Grunden til, at forskellen mellem de to kurver bliver større og større, er på grund af, at brugen af naturressourcer og forureningen er steget med tiden, og dermed skal der fratrækkes en større andel fra det traditionelle BNP i takt med stigende forbrug af naturressourcer og stigende klimaskader [Jespersen, 1998 s. 119].

Klimapåvirkninger bidrager negativt til BNP, og det er en vigtig faktor at medtage, hvis der skal være fokus på en bæredygtig økonomisk vækst. I næste afsnit vil begrebet 'bæredygtig økonomisk vækst' blive defineret.

2.4 Definition af begrebet global bæredygtig økonomisk vækst

I specialet ønskes det at kunne besvare problemformuleringen, *er det muligt at opnå global bæredygtig økonomisk vækst?*, og for at kunne besvare denne problemformulering er det relevant at introducere læseren til, hvordan bæredygtig økonomisk vækst bliver defineret i specialet.

I takt med at den gennemsnitlige verdenstemperatur stiger, vil konsekvenserne af klimaforandringerne øges, hvilket påvirker de fremtidige generationers levevilkår.

For at den økonomiske vækst kan blive bæredygtig, er det vigtigt at se på klimaet og de klimaforandringer, som finder sted på nuværende tidspunkt. Det er i høj grad den massive udledning af bl.a. CO_2, som er med til at skabe drivhuseffekten og dermed de globale temperaturstigninger. Den massive udledning af CO_2 stammer primært fra de rigere lande, som frit har kunne udlede for at fremme den økonomiske vækst, og det er nu, primært de fattigere lande, som skal betale for konsekvenserne af klimaforandringerne. Disse omkostninger kommer i form af oversvømmelser, orkaner, massive regnmængder og tørke, hvilket bl.a. er med til at påvirke landbruget negativt og dermed økonomien i de fattige lande.

Bekæmpelsen af klimaforandringerne kræver, at de globale temperaturstigninger bliver bremset, hvilket indebærer, at alle verdens lande skal mindske deres CO_2-udledning. Intet land vil være i stand til at kunne forhindre temperaturstigningerne alene, dermed kræver det en stor indsats fra alle verdens lande. Der kan dog opstå et 'free-rider' problem, som kan medføre, at mange lande ikke vil bruge ressourcer på at mindske CO_2-udledningen. Udover 'free-rider' problemet kan der også være lande, som først lige er begyndt at have en høj økonomisk vækst, som vil mene, at det er deres tur til at udlede og vækste. Bl.a. ønsker Indien ikke at efterleve klimamålene, før de rigere lande begynder at bidrage med flere penge til klimakampen. Derudover vil de fattigere lande også blive ramt af en reduktion i CO_2-udledningen, da de ikke vil have de samme muligheder for vækst, som de rige lande har oplevet. Dermed kan en bæredygtig udvikling ramme de fattige landes vækst hårdt [Mellemfolkelig Samvirke].

Klimaindsatsen skal ses som en langsigtet investering i en bedre fremtid, dermed kræver det større investeringer i fx grøn omstilling og investeringer i forskning og innovation til at fremme en mere bæredygtig økonomisk vækst. Hvis ikke der bliver gjort noget i tide, vil klimaforandringerne kunne ødelægge eller forringe kapitalen, som vil påvirke produktionen og dermed økonomien, og på sigt vil denne pris være endnu større end prisen for at bidrage

til klimaindsatsen [Europa Kommissionen, 2019a, s. 11].

En bæredygtig økonomisk vækst bliver i bred forstand ofte defineret som, at fremtidige generationer ikke må blive stillet dårligere end den nuværende generation. Dette betyder, at velfærdsniveauet for fremtidige generationer skal være på mindst samme niveau som velfærdsniveauet for nutidige generationer [Europa Kommissionen, 2019b, s. 7].

Denne definition for opnåelsen af bæredygtig økonomisk vækst er dog meget bred. Derfor bliver der i specialet anvendt en politisk udlægning af definitionen, som anvendes af Europa-Parlamentet. Her defineres den økonomiske vækst i Europa som værende bæredygtig, hvis væksten bliver klimaneutral inden 2050. Klimaneutralitet skal opfattes som en nuludledning af CO_2 [Europa-Parlamentet]. Specialets definition af en bæredygtig økonomisk vækst følger derfor Europa-Parlamentets, og definitionen, der anvendes i specialet er, *at en bæredygtig økonomisk vækst, er en vækst, der leder til en nuludledning af CO_2 i 2050.* I kapitel 3 bliver der opstillet en teoretisk analyse af, hvorledes det er muligt i Europa at opnå en bæredygtig økonomisk vækst pr. denne definition.

Global bæredygtig økonomisk vækst 3

I dette kapitel præsenteres indledningsvist den metodiske tilgang, der anvendes til at analysere specialets problemformulering, som tager udgangspunkt i den tidligere præsenteret klimamodel. Efterfølgende vil der i analysen foretages 5 simulationer, hvoraf resultaterne vil blive præsenteret og kommenteret på. Resultaterne af disse simulationer anvendes senere i diskussionen samt til at besvare specialets problemformulering med. Afslutningsvist præsenteres et kort overblik over resultaterne af analysen.

3.1 Introduktion

For at undersøge specialets problemformulering, der lyder på, om det er muligt at opnå global bæredygtig økonomisk vækst, vil analysen tage udgangspunkt i den tidligere teoretiske beskrevne model, den simple klima Solow-model. Formålet med analysen er at undersøge, hvorledes det er muligt at opnå en global bæredygtig økonomisk vækst, defineret som en økonomisk vækst, der leder til nuludledning af CO_2 i år 2050 jf. afsnit 2.4. Det er derfor vigtigt at bemærke, at analysen tager udgangspunkt i en teoretisk model, og vil derfor være simulerede scenarier af udviklingen i den gennemsnitlige verdenstemperatur, CO_2-udledning og output pr. arbejder. Årsagen til, at disse tre variable udvælges, er, at de er de mest centrale variable[1]. Dermed vil de resultater, som fremkommer i analysen, ikke kunne afspejles 1:1 med den faktiske virkelige udvikling. Resultaterne skal i stedet tolkes som værende teoretiske resultater, der kan bruges til at anskue, hvilke konsekvenser produktionen kan have på klimaet. Det er værd at påpege som nævnt tidligere, at DICE-modellen, som er en mere kompleks model, men af samme modeltype, som den simple klima Solow-model, anvendes af den amerikanske regering til at vurderer effekterne af forskellige klimapolitikker. Det giver derfor anledning til i det senere diskussionsafsnit at diskutere resultaterne af analysen og mulige konsekvenser, der er ved at anvende modeller som denne til at basere den klimapolitiske strategi på.

Den metodiske tilgang til at undersøge problemformuleringen med tager derfor udgangspunkt i den tidligere forklarede og opstillede simple klima Solow-model, som blev beskrevet i afsnit 2.1.1. Ligningssystemet for denne model fremgår i appendiks 7.1.1 og anvendes til at udføre baseline simuleringen med. Da den simple klima Solow-model er en global model ligesom DICE-modellen, er det oplagt at anvende modellen til at undersøge problemformuleringen med. Til fastsættelsen af parameterværdierne og begyndelsesværdierne i simulationen anvendes samme parameterværdier og begyndelsesværdier, som bruges af Panagiotis Tsigaris og Joel Wood. Disse værdier fremgår i tabel 3.1.

[1] Udviklingen i de resterende variable kan findes i de vedhæftede simulationer.

Forklaring	Symbol	Værdi
Kapitals andel af indkomsten	α	0,3
Opsparingsraten	s	0,25
Deprecieringsraten	δ_0	0,1
Verdens population i 2010 (i milliarder)	L_0	6,838
Verdens befolkningstilvækst i 2010	$g_{L,0}$	0,024
Parameter der påvirker befolkningstilvæksten	δ_L	0,052
Total faktor produktiviteten i 2010	A_0	3,955
Væksten i total faktor produktiviteten i 2010	$g_{A,0}$	0,015
Parameter der påvirker væksten i produktiviteten	δ_A	0,011
Verdens BNP i 2010 i billioner (i 2005 priser)	Y_0	63,69
Kapital i verden i 2010 i billioner (i 2005 priser)	K_0	135
Emissionsintensiteten i 2010	σ_0	0,549
Væksten i emissionsintensiteten i 2010	$g_{\sigma,0}$	-0,01
Parameter der påvirker væksten i emissionsintensiteten	δ_σ	-0,0002
Skadesparameter 1	θ_1	0,002384
Skadesparameter 2	θ_2	2
Effekten af kulstofsudledning pr. milliarder tons på temperaturen	β	0,0018
Summen af udledte kulstoffer i 2010 (i milliarder af tons)		530

Tabel 3.1. Anvendte parameterværdier og begyndelsesværdier i simulationen i analysen. Kilde: [Tsigaris og Wood, 2016, s. 78]

Argumentationen for at anvende disse værdier og ikke estimere og finde værdier for år 2022 er, at målet med modellen er at kunne sammenligne den med et udgangspunkt, i dette tilfælde de udførte simulationer af Panagiotis Tsigaris og Joel Wood for at sikre, at modellen er opstillet korrekt. Derudover er værdierne fra 2010 også blevet anvendt for at kunne sammenligne med Nordhaus' resultater for, hvordan den gennemsnitlige verdenstemperatur vil udvikle sig i simulationen af DICE-modellen fra år 2010 til år 2100, som fremgår i figur 2.9 i afsnit 2.2.2.

I forhold til hvordan Panagiotis Tsigaris og Joel Wood er kommet frem til ovenstående parameterværdier og begyndelsesværdier afhænger af, hvilke værdier der betragtes. Panagiotis Tsigaris og Joel Wood har fastsat værdierne for α, s, δ_0, L_0, Y_0, K_0, $g_{\sigma,0}$ og θ_2 efter de værdier Nordhaus anvender i sin 2013 versionen af DICE-modellen [Nordhaus og Sztorc, 2013, s. 96], hvor de resterende værdier er blevet estimeret af forfatterne selv. Årsagen til at forfatterne ikke har anvendt samme værdier for de resterende parametre og begyndelsesværdier, som anvendes i DICE-modellen fra 2013, er på grund af, at DICE-modellen er mere kompleks end den simple klima Solow-model, og derfor anvendes andre udtryk for værdierne i det mere komplekse ligningssystem, der anvendes af DICE-modellen. Et eksempel på dette er, fx at i den simple klima Solow-model fastsættes opsparingsraten til konstant at være 25%. I DICE-modellen fastsættes opsparingsraten i stedet endogent i modellen. DICE-modellen fra 2013 består af 25 ligninger[2], hvor tilsvarende den simple klima Solow-model indeholder 11 ligninger[3].

Det er igen vigtigt at bemærke, som pointeret i afsnit 2.1.1, at kulstoffer ikke er det samme som kuldioxid, CO_2. I tabel 3.1 fremgår den samlede udledte mængde af kulstoffer til at være 530 milliarder tons, hvilket er angivet af Panagiotis Tsigaris og Joel Wood, som bruger mængden, der er estimeret af FN's klimapanel i deres femte hovedrapport, omhandlede klimaforandringerne [Nordhaus og Sztorc, 2013, s. 35]. Værdien for den kumulative mængde

[2]Her henvises der kun til centrale ligninger, og ikke under-ligninger, der anvendes til at fastsætte værdierne i de centrale ligninger med.

[3]Den simple klima Solow-model, hvor ligningerne med klimapolitikken medtages, indeholder 15 ligninger jf. appendiks 7.1.2.

af udledt CO_2 er meget højere, men da den gennemsnitlige temperaturstigning i den simple klima Solow-model estimeres ud fra udledning af kulstoffer, anvendes værdien på de 530 milliarder tons i simulationen.

Til at simulere scenarier af forskellige klimapolitikker anvendes den simple klima Solow-model, hvor ligningerne med klimapolitikken medtages, som beskrevet i det tidligere afsnit 2.1.2, hvor ligningssystemet til denne model fremgår i appendiks 7.1.2. Begyndelsesværdien for M_0 og parameterværdien m afgør, hvor stram en klimapolitik der foretages en simulation af, som beskrevet i afsnit 2.1.2. Derfor kan disse værdier defineres som værende instrumenterne, der i modellen kan justeres på, som udtrykker den førte klimapolitik. I analysen vil værdierne, som M_0 og m tager, afhænge af, hvilken simulation der foretages, og det vil fremgå eksplicit ved de enkelte simulationer efter simulationen af business-as-usual.

Forklaring	Symbol	Værdi
Den CO_2-reducerende rate	M_0	Afhænger af simulation
Udviklingen i den CO_2-reducerende rate	m	Afhænger af simulation

Tabel 3.2. Anvendte klimapolitiske begyndelsesværdier og parameterværdier i simulationen i analysen.
Kilde: [Tsigaris og Wood, 2016]

Den anvendte simulationsperiode i analysen er fra år 2010 til år 2130, argumentationen for at anvende denne tidsperiode er for bl.a. at kunne illustrere, hvordan cost-benefit-analysen af klimapolitikker påvirkes af den valgte tidslængde for simulationen. Hvis simulationsperioden var kortere, end frem til og med år 2130, vil en stor del af gevinsterne i cost-benefit-analyserne i de følgende simulationer ikke blive opfanget, da gevinsterne først opstår senere. Argumentationen for, at simulationsperioden ikke går længere frem end til år 2130, er, at en kortere tidshorisont er mere håndgribelig, end hvis der fx ses 200 år ud i fremtiden. Dette er både i forhold til planlægningen af den klimapolitiske strategi og afrapporteringen af simulationsresultaterne i analysen, samt at, jo længere ud i fremtiden der anskues, desto større usikkerhed opstår der.

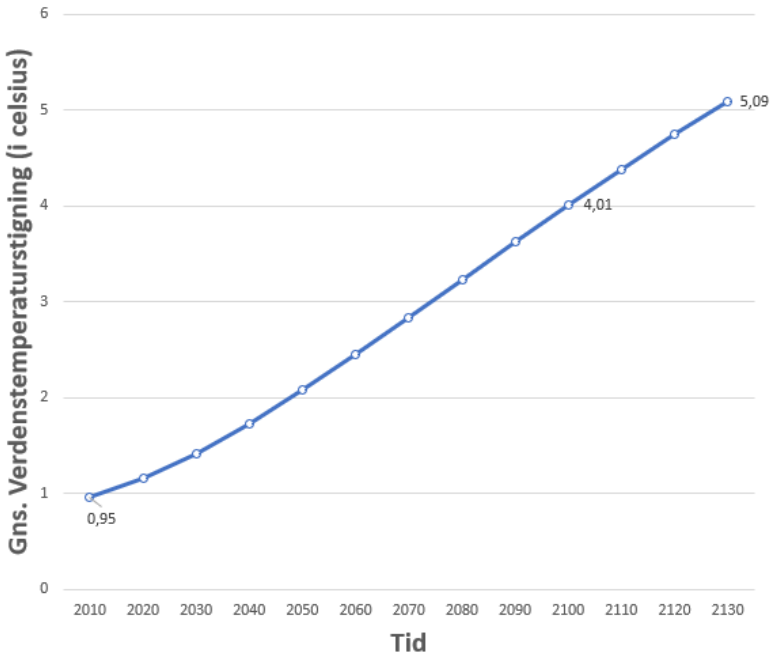
3.2 Business-as-usual

Den første simulation, der udføres i analysen, er business-as-usual (BAU) simulationen. Her undersøges det teoretisk, hvordan verdenstemperaturen, udledningen af CO_2 og output pr. arbejder, vil udvikle sig ifølge simulationen, hvis verdensøkonomien overlades til markedskræfterne, hvor der ikke føres en konkret klimapolitik på verdensplan. Denne simulation foretages indledningsvist for at have et sammenligningsgrundlag med de efterfølgende simulationer, hvor der indføres klimapolitik. Det tillader bl.a., at der kan foretages cost-benefit-analyser på klimapolitikker, der sikrer CO_2-neutralitet i år 2050 samt mulighed for at afgøre, hvilken klimapolitik der er den optimale, defineret som den politik, der maksimerer nettofordelene i cost-benefit-analysen. Det er derfor en baseline-simulation. Derudover giver business-as-usual simulationen også et sammenligningsgrundlag til, hvordan det vil påvirke modellen, hvis diverse parametre i modellen ændres. Det tillader derfor, at der foretages en diskussion af, hvor følsomme resultaterne fra simulationen af den simple klima Solow-model er på ændringer i parameterværdierne. Ligningssystemet,

der anvendes til at foretage business-as-usual simulationen med, fremgår i appendiks 7.1.1, og de anvendte parameterværdier til simulationen blev præsenteret i tabel 3.1.

3.2.1 Udvikling i den gennemsnitlige verdenstemperatur

Indledningsvist undersøges udviklingen i den gennemsnitlige verdenstemperatur i simulationen af business-as-usual for at afdække, hvordan den gennemsnitlige verdenstemperatur vil stige over tid, hvis der ikke udføres en konkret samlet global klimapolitik. Denne variabel spiller en meget central rolle, i og med at den er afgørende for, hvor meget det fremtidige output pr. arbejder vil blive reduceret. Simulationen tillader samtidigt også at undersøge, hvorledes FN's mål om en gennemsnitlig global temperaturstigning på under 2°C overholdes.

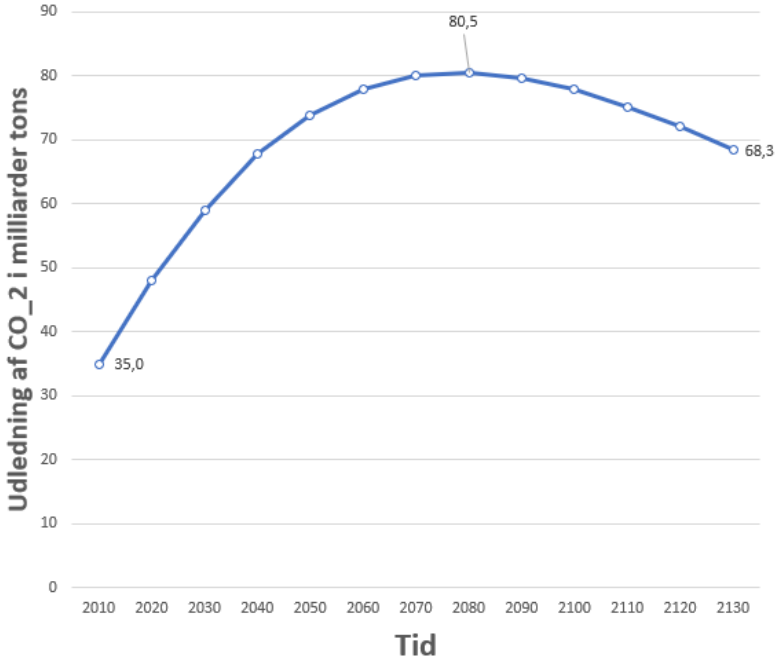


Figur 3.1. Figuren viser, hvordan den gennemsnitlige verdenstemperatur udvikler sig, ved simulationen af business-as-usual for perioden 2010-2130.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.1.

Af simulationsresultaterne i figur 3.1, fremgår det, at den gennemsnitlige verdenstemperatur vil stige fra $0,95$°C i år 2010 til $5,09$°C i år 2130, hvilket svarer til en stigning på $4,14$°C, hvis business-as-usual forsættes. Holdes disse simulationsresultater op imod resultaterne fra DICE-modellens simulation af base-scenariet, fremgår det, at udviklingen i temperaturstigningen i business-as-usual følger en tilsvarende sti. Ud fra Nordhaus' simulation af DICE-modellen i figur 2.9 fremgår det, at temperaturstigning i år 2010 er $0,85$°C, og i år 2100 er stigningen $4,03$°C, derved divergerer resultaterne fra de to simulationer marginalt.

3.2.2 Udvikling i den årlige udledning af CO_2

Eftersom at mængden af CO_2-udledningen er afgørende for udviklingen i den gennemsnitlige globale temperatur, undersøges ligeledes udviklingen i CO_2-udledning i simulationen af business-as-usual.

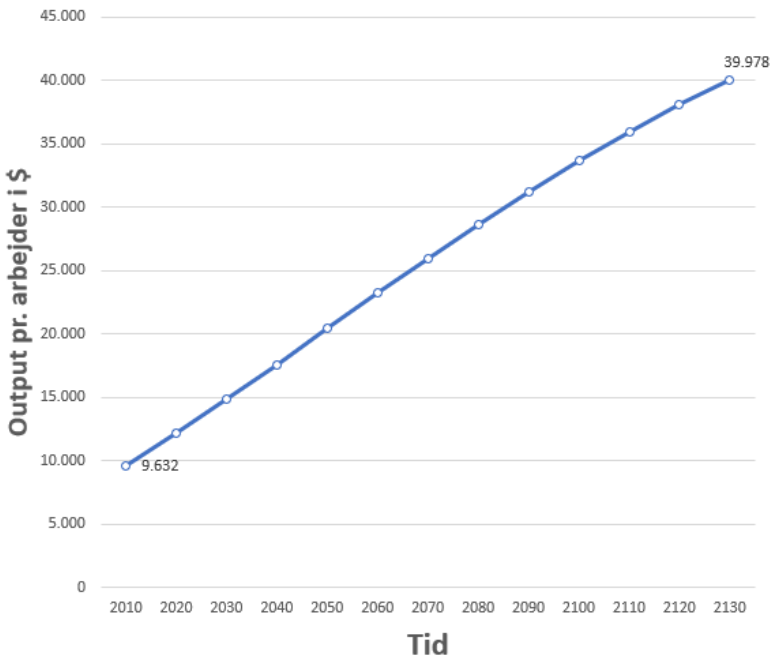


Figur 3.2. Figuren viser, hvordan den årlige udledning af CO_2 udvikler sig, ved simulationen af business-as-usual for perioden 2010-2130.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.1.

Af simulationsresultaterne i figur 3.2 fremgår det, at den årlige udvikling i CO_2-udledningen vil stige fra 35 milliarder tons i år 2010 frem imod år 2080, hvor udledningen vil ramme et toppunkt på $80,5$ milliarder tons. Herefter vil udledningen falde over tid og vil i år 2130 udgøre $68,3$ milliarder tons. Udledningen af CO_2 stiger i starten, hvilket er et resultat af, at output vokser hurtigere, end emissionsintensiteten falder. Emissionsintensiteten påvirker, hvor meget CO_2, der udledes ved en given produktion Y_t, hvilket fremgik af ligning 2.10. Fra ligning 2.11 fremgik det, at udviklingen i emissionsintensiteten er negativ over tid, hvilket er et resultat af forskellige årsager. For det første er der sket et skift i hvilke sektorer der vækster mest, tidligere har det været produktionsvirksomheder, som har et højt energiforbrug, hvor det i nyere tid er skiftet til, at det er informationsteknologi, sundhed og serviceerhverv, som er de sektorer, der vækster mest. Disse sektorer er mindre energiintensive, hvilket betyder, at de udleder mindre CO_2. Samtidigt øger teknologiske fremskridt produktionseffektiviteten, således at det nu kræver mindre energi at producere den samme mængde. Den anvendte kilde til energi er også blevet substitueret over tid fra tidligere at have været kulbaseret til nu at være renere former for energi, hvilket også udleder mindre CO_2 [Tsigaris og Wood, 2016, s. 69].

3.2.3 Udvikling i output pr. arbejder

Udover udviklingen i klimaaftrykket, som produktionen har været skyld i, er et centralt element udviklingen i det faktiske output på verdensniveau. Nærmere er det interessant at undersøge udviklingen i output pr. arbejder ifølge simulationen, da det er det internationale mål for velstand, og i nogle sammenhæng et politiskmål for velfærd[4].



Figur 3.3. Figuren viser, hvordan output pr. arbejder udvikler sig ved simulationen af business-as-usual for perioden 2010-2130.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.1.

Af simulationsresultaterne i figur 3.3 fremgår det, at output pr. arbejder vil stige fra 9.632$ i år 2010 til 39.978$ i år 2130. Dette svarer til en stigning på over 300%! i output pr. arbejder. I figur 3.2 fremgik det, at udviklingen i udledningen af CO_2 ville være aftagende efter år 2080. Figur 3.3 understreger, at reduktionen i CO_2-udledningen ikke kommer på bekostning af en nedgang i output pr. arbejder, men som resultat af, at den samlede produktion bliver mindre energikrævende og anvender renere energi i fremtiden. Eftersom at simulationerne af udviklingen i de forskellige centrale variable er udført, er det nu muligt at sammenligne udviklingerne på tværs af simulationer. Det muliggør derfor at sammenligne forskellige simulationsscenarier i de efterfølgende afsnit.

3.3 Klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050

I dette afsnit fremvises simulationsresultaterne af simulationen, hvor klimapolitikken, som instrument er integreret i modellen. Ligningssystemet til denne simulation fremgår i appendiks 7.1.2. Formålet med denne simulation er at undersøge, hvorledes det er muligt teoretisk at opnå en global bæredygtig økonomisk vækst, ud fra definitionen i afsnit 2.4, som beskriver, hvad en global bæredygtig økonomisk vækst indebærer. For at operationalisere

[4]Diskuteres i diskussionen.

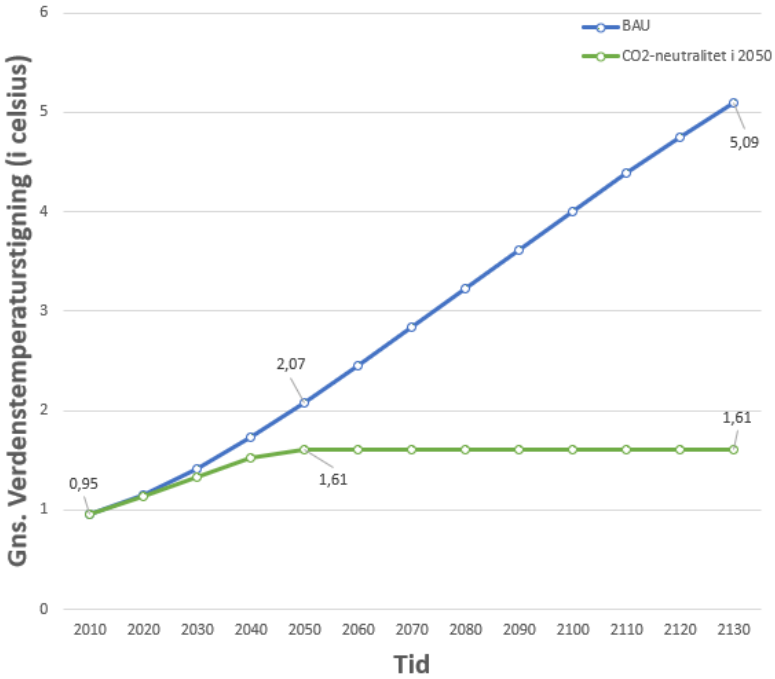
dette vil simulationen være underlagt en begrænsning, som kommer til udtryk igennem en klimapolitik, der sikrer global CO_2-neutralitet i år 2050.

I afsnit 2.1.2 blev det beskrevet, hvordan klimapolitikken operationaliseres i modellen igennem den CO_2-reducerende rate, M_t, og dennes effekt på udledningen af den årlige mængde af CO_2, som fremgår i ligning 2.14. For at sikre CO_2-neutralitet i 2050 er det nødvendigt, at $M_{40} = 1$ hvilket udtrykker at udledning af CO_2 i forbindelse med produktionen er lig nul 40 år frem, dvs. i år 2050, med andre ord, udledningen begrænses 100%.

For at udregne en udvikling i M_t, der sikrer, at $M_t = 1$ i år 2050 er det nødvendigt først at fastslå, hvad initialværdien for M_t bør være. Værdien kan modelmæssigt fastsættes til enhver værdi, hvor den tilsvarende procentvise stigning m sikre, at $M_{40} = 1$. Hvis $M_0 = 0,09$, dvs. 9%[5], så er det nødvendigt at $m = 0,0621$, dvs. 6,2%, for at i år 2050 at opnå en reduktion på 100%[6].

3.3.1 Udvikling i den gennemsnitlige verdenstemperatur

I første omgang udføres der en simulation af, hvilken effekt en klimapolitik der resulterer i CO_2-neutralitet i år 2050, vil have på udviklingen i den gennemsnitlige verdenstemperatur. Udviklingen i denne simulation vil sammenlignes med udviklingen i business-as-usual.



Figur 3.4. Figuren viser, hvordan den gennemsnitlige verdenstemperatur udvikler sig, ved simulationen af en klimapolitik ($M_0 = 0,09$, $m = 0,0621$), der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050, for perioden 2010-2130.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.2.

[5] Værdien på $0,09$ anvendes her, da den ligeledes anvendes i [Tsigaris og Wood, 2016, s. 75]. Hvorledes det er realistisk at reducere CO_2-udledningen med 9% uden at stoppe produktion, ved hjælp af klimapolitik er nok usandsynligt. Det er vigtigt at pointere, at dette blot er en teoretisk model, der analyserer effekterne i simulationen af sådan en reduktion.

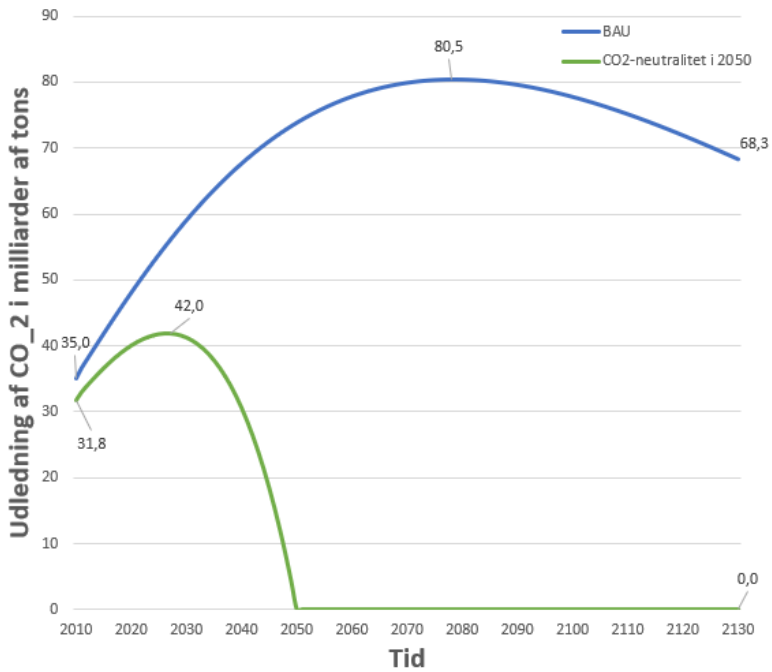
[6] $M_1 = 0,09(1+0,0621) = 0,10 \cdots M_{20} = 0,28*(1+0,0621) = 0,30 \cdots M_{40} = 0,94*(1+0,0621) = 1$

Af simulationsresultaterne i figur 3.4 fremgår det, at den gennemsnitlige verdenstemperatur vil stige fra $0,95°C$ i år 2010 til $1,61°C$ i år 2050, hvilket svarer til en stigning på $0,66°C$. Herefter vil den gennemsnitlige verdenstemperaturstigning, som skyldes CO_2, ifølge simulationen ligge stabilt på de $1,61°C$, hvor årsagen til dette netop er, at klimapolitikken vil resultere i, at der ikke længere udledes CO_2. Simulationsresultaterne af udviklingen i den gennemsnitlige verdenstemperatur viser, at med denne klimapolitiske strategi sikres det at stigningen i verdenstemperaturen holdes på under 2°C.

Sammenlignet med simulationen af business-as-usual fremgår det, at de to simulationer resulterer i markant forskellige stigninger i den gennemsnitlige verdenstemperatur. Forskellen herimellem i år 2130 udgør $3,48°C$.

3.3.2 Udvikling i den årlige udledning af CO_2

For at undersøge, hvordan den årlige CO_2-udledning påvirkes af klimapolitikken, simuleres effekten af klimapolitikken på udledningen af CO_2.



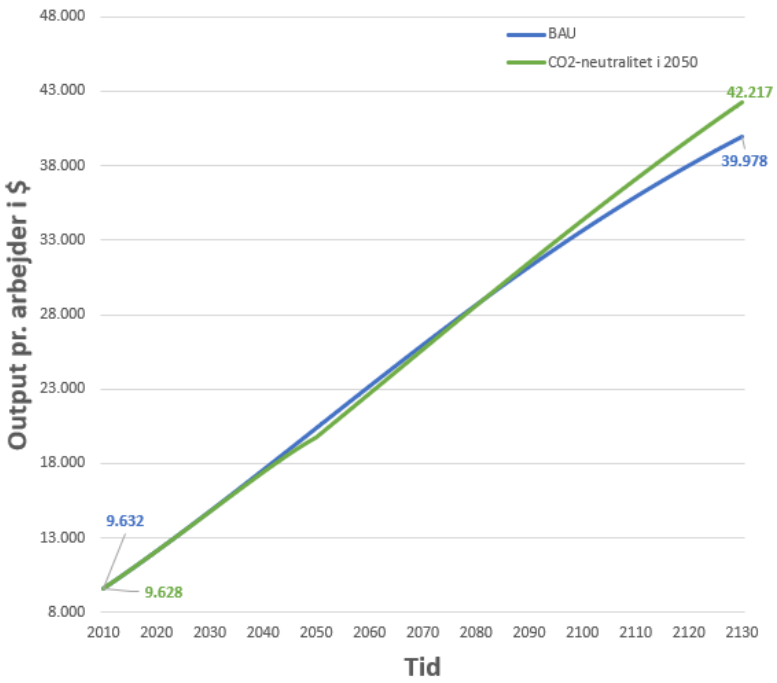
Figur 3.5. Figuren viser, hvordan den årlige udledning af CO_2 udvikler sig, ved simulationen af en klimapolitik ($M_0 = 0,09$, $m = 0,0621$), der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050, for perioden 2010-2130.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.2.

Af simulationsresultaterne i figur 3.5 fremgår det, at den årlige udvikling i CO_2-udledningen vil stige fra $31,8$ milliarder tons i år 2010 frem mod år 2027, hvor udledningen vil nå et toppunkt på 42 milliarder tons. Herefter vil udledningen falde mod nul i år 2050, hvorefter udledningen fremadrettet vil være nul. Årsagen til, at niveauet for udledningen af CO_2 ligger under niveauet i business-as-usual, er, at de klimapolitiske tiltag starter i år 2010, hvilket medfører, at udledningen af CO_2 bliver reduceret med 9% det første år. Faldet i udledningen af CO_2 intensiveres frem mod år 2050, hvilket er et udtryk for, at klimapolitikken strammes over tid, som et resultat af, at udledningen

bliver reduceret med 6,21% hver enkelt år i simulationen. Sammenlignet med business-as-usual fremgår det, at de to simulationer resulterer i markant forskellige toppunkter af den årlige CO_2-udledning. Forskellen imellem de to toppunkter er $38,5$ milliarder tons, dermed er toppunktet i simulationen af klimapolitikken næsten halveret sammenlignet med simulationen af business-as-usual.

3.3.3 Udvikling i output pr. arbejder

Når det samfundsøkonomisk skal vurderes, hvorledes det økonomisk kan svare sig at føre en klimapolitik, er det relevant at se på, hvilke gevinster der opstår af den førte politik, udtrykt som output pr. arbejder. Derfor simuleres klimapolitikkens effekt på output pr. arbejder i modellen.



Figur 3.6. Figuren viser, hvordan output pr. arbejder udvikler sig, ved simulationen af en klimapolitik ($M_0 = 0,09$, $m = 0,0621$), der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050, for perioden 2010-2130. Bemærk at output pr. arbejder i denne figur, er output pr. arbejder fratrukket omkostningerne ved klimapolitikken.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.2.

Af simulationsresultaterne i figur 3.6, fremgår output pr. arbejder fratrukket omkostningerne ved klimapolitikken. Hvordan dette konkret operationaliseres, forklares i afsnit 2.1.2, hvor ligning 2.15 beskriver omkostningerne ved den førte klimapolitik. Output pr. arbejder fratrukket omkostningerne i simulationen af CO_2-neutralitet i år 2050 ligger på et lavere niveau end output pr. arbejder i simulationen af business-as-usual fra år 2010 til og med år 2082. Illustrativt er det svært at se, da forskellen imellem de to grafer i begyndelse er marginal, men forskellen kan ses ved at betragte bilag 6.3.1 og bilag 6.3.2.

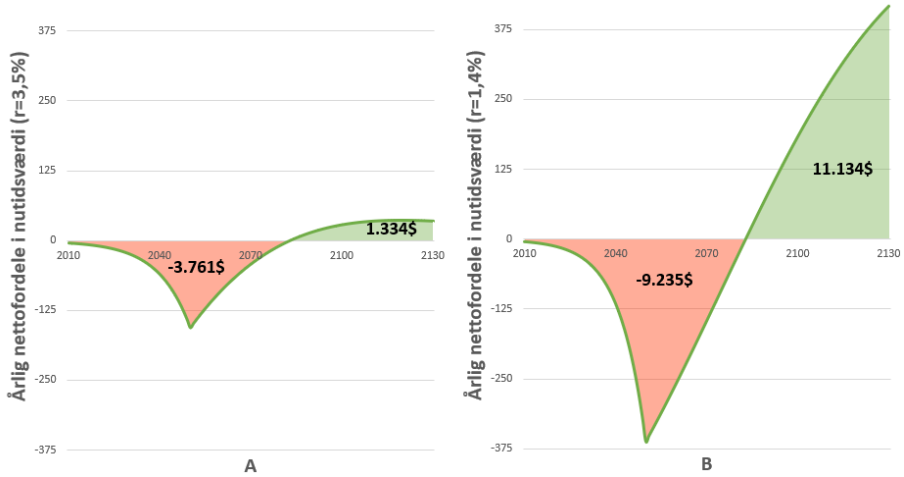
Output pr. arbejder i simulationen af klimapolitikken ligger på 9.628$ i år 2010, hvilket er under niveauet for simulationen af business-as-usual. Dog ses det, at niveauet for output pr. arbejder i simulationen med klimapolitik overstiger niveauet i forhold til business-as-usual

fra og med år 2083, hvilket er et resultat af, at de klimatiske skader bliver reduceret ved at føre klimapolitikken. Dette kommer til udtryk igennem skadesfunktionen fra ligning 2.4, der viser hvordan at, jo mindre udledning der forekommer af CO_2, desto mindre vil den gennemsnitlige verdenstemperatur stige, hvilket tilsvarende reducerer skadesfunktionens størrelse. Efter år 2083 vil gevinsterne ved den reducerede skadesfunktion overstige omkostningerne ved klimapolitikken.

Det er vigtigt at bemærke, at forskellen imellem de to simulationer ikke fortæller, hvorledes det er profitabelt, og om det derved samfundsøkonomisk kan svare sig at føre klimapolitikken. For at afgøre, hvorledes det er profitabelt at gennemføre denne klimapolitik, er nødvendigt at foretage en cost-benefit-analyse af fordelene og omkostningerne ved klimapolitikken, hvor diskonteringsrenten er den dominerende beslutningsvariabel i beslutningen af, hvorledes klimapolitikken er profitabel eller ej, jf. afsnit 2.1.4.

3.3.4 Cost-benefit-analyse af den førte klimapolitik

For at foretage cost-benefit-analysen opgøres gevinsterne og omkostningerne ved den førte klimapolitik, som resulterer i CO_2-neutralitet i 2050. Hvordan dette gøres operationelt forklares i afsnit 2.1.3. Cost-benefit-analysen, som foretages på simulationsresultaterne fra de to simulationer, kan her bruges til at vurdere hvorledes nettofordelene ved at gennemføre klimapolitikken er positive eller ej. Nettofordelene måles i forhold til gevinster i form af øget output pr. arbejder, og omkostninger opgøres som omkostningerne til klimapolitikken. Eftersom at både omkostninger og gevinster fremkommer i fremtiden, omregnes de til nutidsværdier, for at vurdere nettofordelene af klimapolitikken. I denne cost-benefit-analyse anvendes hhv. Nordhaus' og Sterns diskonteringsrenter på hhv. $3,5\%$ og $1,4\%$, jf. tabel 2.1 i afsnit 2.1.4.



Figur 3.7. Figuren viser, nettofordelene ved den simulerede klimapolitik ($M_0 = 0,09$, $m = 0,0621$) der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050 for perioden 2010-2130. Figur (A) viser de årlige nettofordele ved en diskonteringsrente på $3,5\%$. Figur (B) viser de årlige nettofordele ved en diskonteringsrente på $1,4\%$.
Kilde: Egne simulationer og udregninger. Se bilag 6.3.3.

Af figur 3.7 fremgår cost-benefit-analysen med de to forskellige diskonteringsrenter. For

at kunne afgøre, hvorledes det er profitabelt at føre en klimapolitik med den givne diskonteringsrente skal de enkelte års nettofordele summeres. Når alle nettofordelene summeres ved en diskonteringsrente på $3,5\%$, som fremgår af figur 3.7(A), bliver nutidsværdien af klimapolitikken, svarende til $-2.427\$$. I dette tilfælde vil der altså være en negativ nettofordel ved den førte klimapolitik, og derved kan det ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv ikke svare sig at føre den angivne klimapolitik. Hvis alle nettofordelene ved en diskonteringsrente på $1,4\%$ summeres, som fremgår af figur 3.7(B), bliver nutidsværdien af klimapolitikken, svarende til $1.898\$$. I dette tilfælde er nettofordelen ved den førte klimapolitik positive, og derved kan det svare sig at føre den angivne klimapolitik. Omkostningerne ved diskonteringsrenten på $1,4\%$ er markant højere end omkostningerne ved en diskonteringsrente på $3,5\%$, men da de fremtidige gevinster overstiger omkostningerne, bliver nettofordelene positive.

Gevinsterne af den førte klimapolitik opstår først fra og med år 2083, hvilket vil betyde, at der kan være individer, som ikke vil opleve gevinsterne. Med dette menes der, at personer, der fx bliver født i år 2010, og dør i år 2080, kun vil leve i perioden, hvor nettofordelene har været negative, og dermed aldrig har oplevet en nettogevinst ved den førte klimapolitik. For en person som denne vil det betyde en nedgang i output pr. arbejder, som kunne være undgået, hvis klimapolitikken aldrig blev udført. Betragtes figur 3.6 viser simulationen, at på globalt plan vil der ikke ske et fald i output pr. arbejder, men da det først er langt ude i fremtiden, at nettofordelene bliver positive, så vil der kunne være nogle intergenerationelle problemer forbundet med at føre denne klimapolitik.

Som det også fremgår i figur 3.7, så har diskonteringsrenten en stor betydning for, hvorvidt det er fordelagtigt at indføre den simulerede klimapolitik, da en diskonteringsrente på $3,5\%$ giver en negativ nettofordel, mens en diskonteringsrente på $1,4\%$ giver en positiv nettofordel.

Det er vigtigt at bemærke, at cost-benefit-analysen ikke opfanger effekten af, hvad omkostningerne er ved irreversible skader på klimaet. Disse omkostninger skulle i en cost-benefit-analyse indgå som gevinster, hvis klimapolitikken resulterer i, at disse irreversible skader undgås[7].

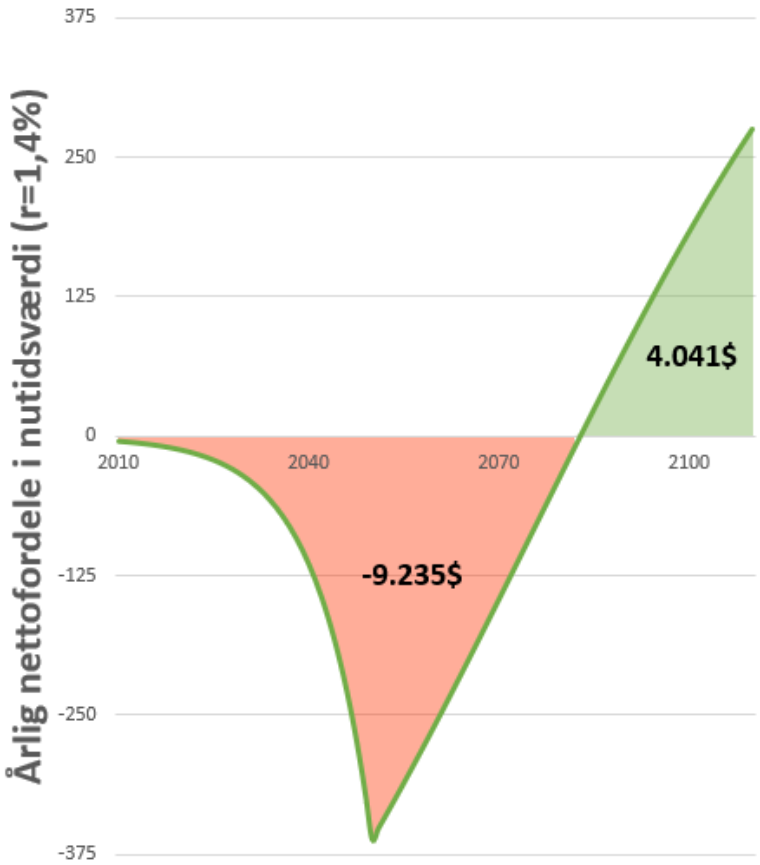
3.3.5 Tidshorisontens betydning for cost-benefit-analysen

Udover diskonteringsrentens fastsættelse spiller tidshorisonten, som cost-benefit-analysen foretages over, også en rolle i forhold til vurderingen af, hvorledes den planlagte klimapolitik er fordelagtig at gennemføre eller ej. Til det kan det overvejes, at forbedringer i klimaet potentielt vil have spillover effekter på den økonomiske vækst i mange år frem, tilmed så længe kloden eksisterer. At foretage så lang en cost-benefit-analyse er dog uoverskuelig[8], og derfor anvendes der en kortere tidshorisont, som er tilstrækkelig til at vise, hvordan tidshorisonten også er en afgørende faktor i processen med at vurdere, hvorledes klimapolitikken er profitabel eller ej. For at illustrere tidshorisontens betydning bliver der først taget udgangspunkt i den tidligere anvendte diskonteringsrente på $1,4\%$.

[7] Kompleksiteten ved fastsættelsen af irreversible omkostninger rækker udover specialets fokus, i og med at der kunne skrives en afhandling alene omkring dette.

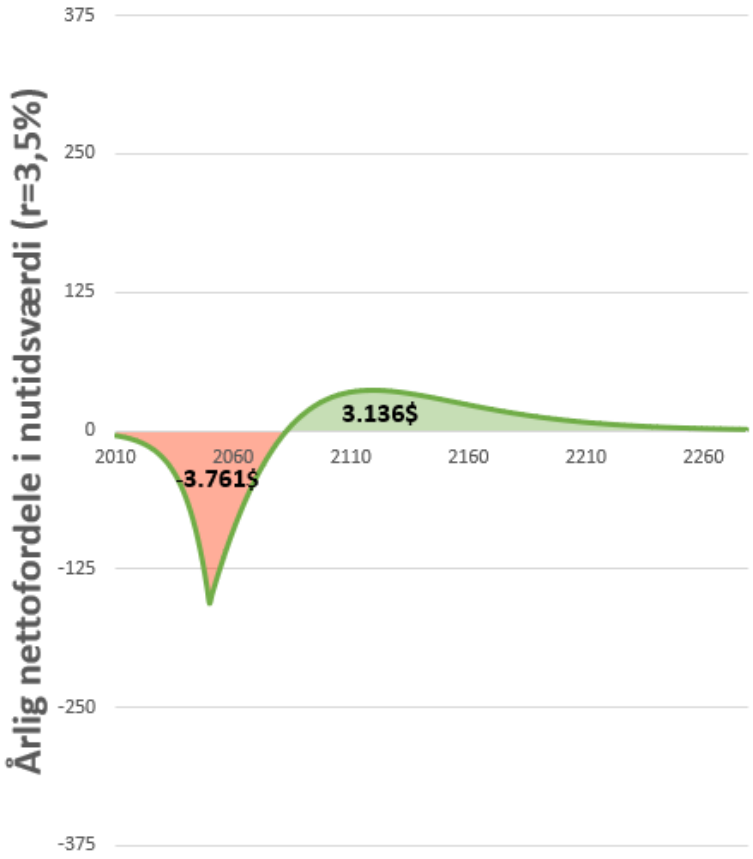
[8] Og da klodens endeligt stadig er ubekendt.

I figur 3.7 fremgik det, at ved en diskonteringsrente på $1,4\%$ var klimapolitikken, som resulterer i CO_2-neutralitet i år 2050, profitabel. Tidshorisonten for denne cost-benefit-analyse er fra 2010 til 2130. Hvis cost-benefit-analysen i stedet havde været foretaget fra 2010 til 2110, vil det lede til en anden konklusion af, hvorledes klimapolitikken var samfundsøkonomisk profitabel.



Figur 3.8. Figuren viser, nettofordelene ved en diskonteringsrente på $1,4\%$, ved den simulerede klimapolitik ($M_0 = 0,09$, $m = 0,0621$) der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050 for perioden 2010-2110.
Kilde: Egne simulationer og udregninger. Se bilag 6.3.4.

Af figur 3.8 fremgår det af cost-benefit-analysen, at nettofordelene ved en kortere tidshorisont vil udgøre -5.193\$. Det betyder derfor sammenlignet med figur 3.7(B), som viste en nettofordel på 1.898\$, så vil klimapolitikken nu ikke være profitabel længere. Dette understreger derfor, at valget af tidshorisonten for opgørelsen af gevinster og omkostninger, også spiller en central rolle i at afgøre, hvorledes en klimapolitik er samfundsøkonomisk profitabel. Derved understreger det også vigtigheden af, at når politikere skal overveje investeringer, især i klimaet, at så er det vigtigt at have en lang tidshorisont med i overvejelsen, da de fleste af gevinsterne ved klimapolitikken først forfalder langt ude i fremtiden. Som det også fremgår af figur 3.8, så er det først efter år 2083, at nettofordelene af denne klimapolitik bliver positive, og derved, jo kortere tidshorisont der overvejes, desto mindre sandsynligt er det, at klimapolitikken er profitabel.



Figur 3.9. Figuren viser, nettofordelene ved en diskonteringsrente på $3,5\%$, ved den simulerede klimapolitik ($M_0 = 0,09$, $m = 0,0621$) der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050 for perioden 2010-2278.
Kilde: Egne simulationer og udregninger. Se bilag 6.3.4.

Modsætningsvist viser resultaterne, der fremgår af figur 3.9, at uafhængigt af, hvor lang tid frem tidshorisonten sættes ved cost-benefit-analysen for en diskonteringsrente på $3,5\%$, så vil klimapolitikken aldrig give en positiv nettofordel[9]. Det betyder derfor i denne sammenhæng, at ved en diskonteringsrente på $3,5\%$, vil det ikke kunne svare sig samfundsøkonomisk, ud fra en cost-benefit-analyse, at føre denne klimapolitik, der sikrer CO_2-neutralitet i 2050.

Selvom tidshorisonten også spiller en central rolle i cost-benefit-analysen, er det stadig diskonteringsrenten, som er den dominerende beslutningsvariabel i valget af, hvorledes en klimapolitik bør følges eller ej.

3.4 Udskydelse af klimapolitikken til 2025

I dette afsnit fremvises simulationsresultaterne af en simulation, hvor klimapolitikken beskrevet ovenfor i afsnit 3.3 bliver udskudt til først at påbegynde i år 2025. Ligningssystemet for denne simulation er den samme som ved den tidligere klimapolitik. Det betyder derfor, at simulationen er underlagt en begrænsning i form af en klimapolitik,

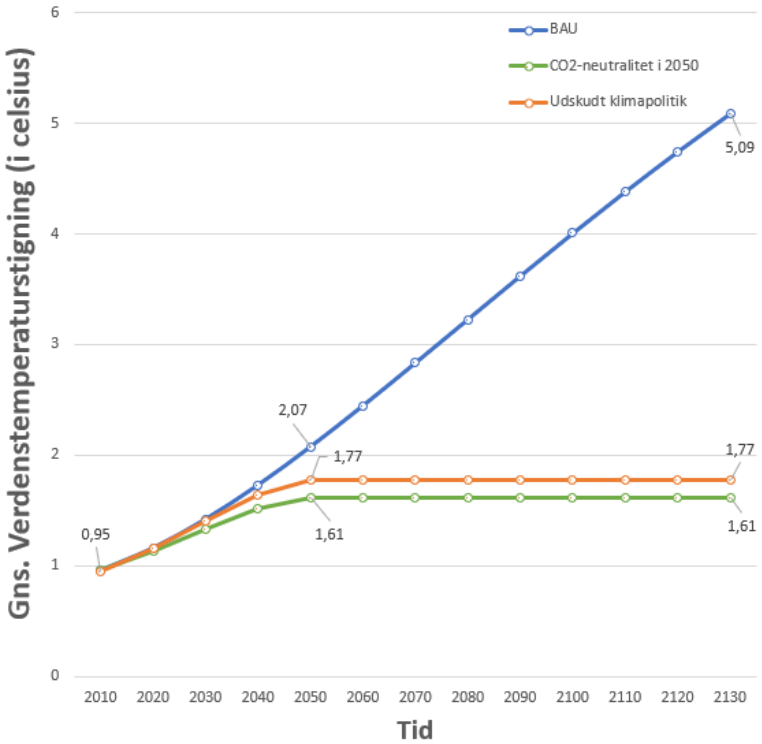
[9]Selv 500 år frem viser resultaterne af simulationen, at de summerede nettofordele i cost-benefit-analysen ved en diskonteringsrente på $3,5\%$, vil være negative.

der sikrer CO_2-neutralitet i 2050, men hvor politikken for at opnå målet først igangsættes i år 2025. Denne simulation foretages med henblik på at afdække, hvilke konsekvenser det vil have teoretisk, hvis klimapolitikken udskydes.

For at udregne en udvikling i M_t, der sikrer, at $M_t = 1$ i 2050 er det igen nødvendigt først at fastslå, hvad initialværdien for M_t bør være. Værdien kan modelmæssigt fastsættes til enhver værdi ligesom tidligere, hvor den tilsvarende procentvise stigning m skal sikre at $M_{40} = 1$. I dette tilfælde fastsættes $M_{15} = 0,09$, da begyndelsesåret for klimapolitikken ligger 15 år senere, og det udtrykker derved, at klimapolitikken først igangsættes i år 2025. Det betyder derfor, at udviklingen i klimapolitikken skal være strammere for at opnå CO_2-neutralitet i 2050. Dermed er det nødvendigt, at m fastsættes til en højere værdi, end hvad var tilfældet ved den tidligere simulerede klimapolitik. I denne simulation af den udskudte klimapolitik er det nødvendigt, at $m = 0,1011$ for i år 2050 at opnå en reduktion på 100%[10].

3.4.1 Udvikling i den gennemsnitlige verdenstemperatur

Simulationen af den udskudte klimapolitik muliggør at undersøge, hvordan det vil påvirke udviklingen i den gennemsnitlige verdenstemperatur sammenlignet med en klimapolitik, der ikke udskydes og igangsættes i 2010.



Figur 3.10. Figuren viser, hvordan den gennemsnitlige verdenstemperatur udvikler sig, ved simulationen af en klimapolitik, der først påbegyndes i 2025, hvor ($M_0 = 0,09$, $m = 0,1011$), der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050, for perioden 2010-2130.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.5.

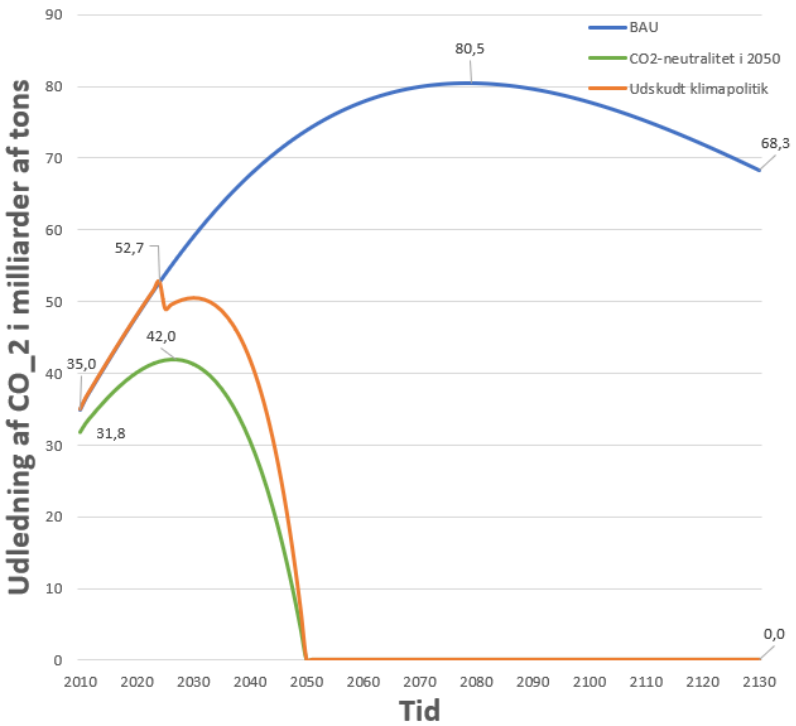
Af simulationensresultaterne i figur 3.10 fremgår det, at den gennemsnitlige verdenstem-

[10] $M_{16} = 0,09(1+0,1011) = 0,10 \cdots M_{25} = 0,21*(1+0,1011) = 0,23 \cdots M_{40} = 0,90*(1+0,1011) = 1$

peratur vil stige fra $0,95°C$ i år 2010 til $1,77°C$ i år 2050, hvilket svarer til en stigning på $0,82°C$. Herefter vil den gennemsnitlige verdenstemperatur ifølge simulationen ligge stabilt på de $1,77°C$. Dermed vil denne klimapolitiske strategi ifølge simulationen også sikre, at stigningen i verdenstemperaturen holdes under $2°C$. Sammenlignet med simulationen af den CO_2-neutrale klimapolitik, vil en udskudt klimapolitik resultere i en højere temperaturstigning på $0,16°C$. Dette er med til at indikere, at konsekvensen ved at udskyde klimapolitikken resulterer i en højere temperaturstigning. Dermed må klimapolitikken ikke udskydes for længe, hvis målet omkring en global gennemsnitlig temperaturstigning på under $2°C$ skal overholdes. Ellers vil det kræve en meget stram klimapolitik for at overholde målet, og det vil kunne vise sig i praksis at være umuligt.

3.4.2 Udvikling i den årlige udledning af CO_2

For at undersøge, hvordan det påvirker den årlige CO_2-udledning at udskyde klimapolitikken, simuleres effekten af den udskudte klimapolitik på udledningen af CO_2.



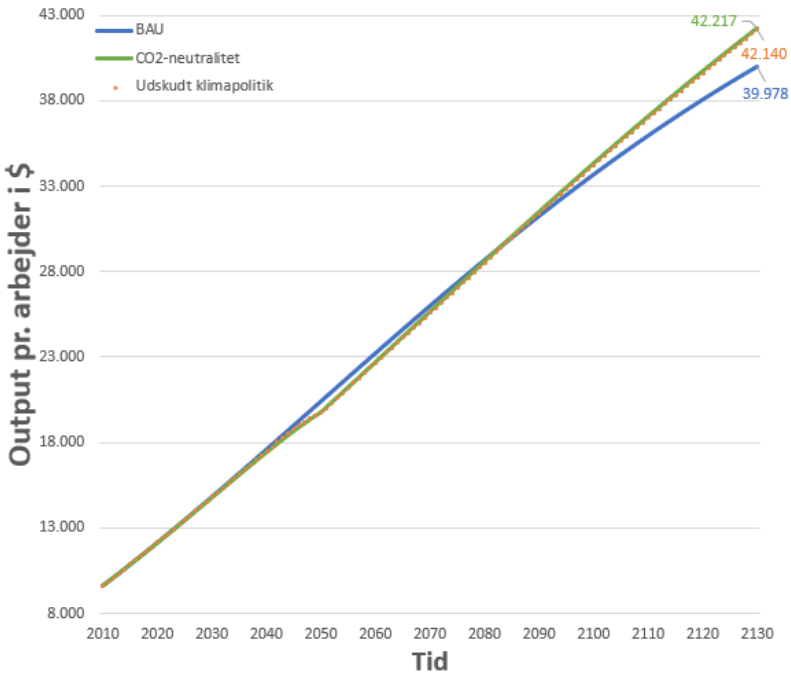
Figur 3.11. Figuren viser, hvordan den årlige udledning af CO_2 udvikler sig, ved simulationen af en klimapolitik, der først påbegyndes i 2025, hvor ($M_0 = 0,09$, $m = 0,1011$), der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050, for perioden 2010-2130.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.5.

Af simulationsresultaterne i figur 3.11 fremgår det, at den årlige udvikling i CO_2-udledningen vil stige fra 35 milliarder tons i år 2010 frem mod et toppunkt på $52,7$ milliarder tons i år 2024. Herefter vil udledningen falde mod nul i år 2050, hvorefter udledningen fremadrettet vil være nul. I år 2025 igangsattes klimapolitikken, hvilket betyder, at CO_2-udledningen i det pågældende år falder ca. 7%, fra $52,7$ milliarder tons til 49 milliarder tons, og derfor ses en drastisk nedgang i udledningen dette enkelte år. Årsagen til, at udledningen ikke falder med 9%, er, at udviklingen i teknologiniveauet og

befolkningstilvæksten trækker i retningen af, at output stiger og derved udledes der mere CO_2. Samtidigt er det tidligt i simulation, og effekten af et fald i emissionsintensiteten på daværende tidspunkt er mindre end stigningen i output, som er et resultat af stigningen i teknologiniveauet og befolkningstilvæksten. Da udledningen i denne simulation ligger over udledningen i simulationen af den CO_2-neutrale klimapolitik, er det nødvendigt at føre en strammere klimapolitik for at kunne opnå CO_2-neutralitet i år 2050. Dermed har en udskydelse af klimapolitikken en betydning for at kunne opnå CO_2-neutralitet i år 2050, i og med at en længere udskydelse vil betyde en yderligere opstramning i klimapolitikken, hvilket på et tidspunkt ikke længere vil være realistisk[11].

3.4.3 Udvikling i output pr. arbejder

For at undersøge, hvordan gevinsterne af den gennemførte klimapolitik påvirkes, af at politikken udskydes til først at blive påbegyndt i år 2025, simuleres udviklingen i output pr. arbejder for at kunne sammenligne udviklingen i situationen, hvor klimapolitikken ikke udskydes.



Figur 3.12. Figuren viser, hvordan output pr. arbejder udvikler sig, ved simulationen af en klimapolitik, der først påbegyndes i 2025, hvor ($M_0 = 0,09$, $m = 0,1011$), der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050, for perioden 2010-2130. Bemærk at output pr. arbejder i denne figur, er output pr. arbejder fratrukket omkostningerne ved klimapolitikken.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.5.

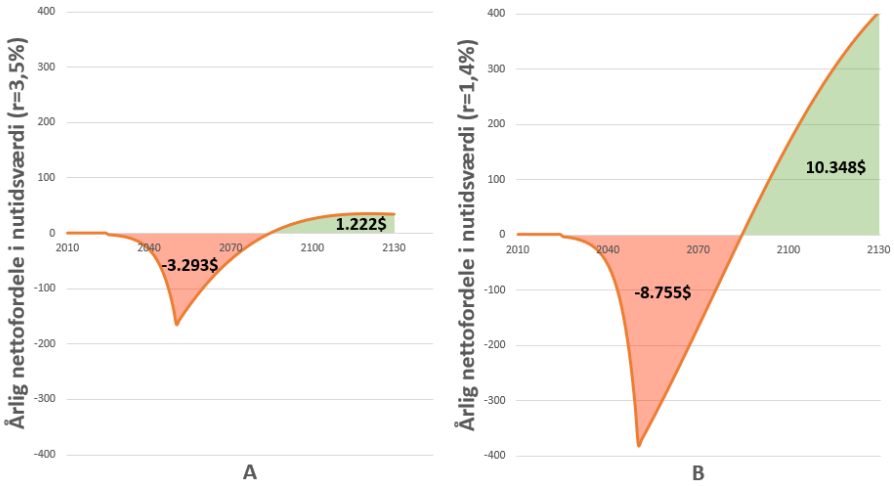
Af simulationsresultaterne i figur 3.12 fremgår output pr. arbejder fratrukket omkostningerne ved den udskudte klimapolitik. Sammenlignes denne simulation med simulationen af output pr. arbejder i tilfældet, hvor klimapolitikken ikke udskydes, ses der kun en marginal

[11] Hvorved det i forvejen kan diskuteres, hvor realistisk det er at reducerer udledningen med 9% begyndelsesvist, i løbet af et enkelt år

forskel. Dette fremgår bl.a. ved år 2130, hvor output pr. arbejder fratrukket omkostningerne til den udskudte klimapolitik er 77$ lavere end resultatet ved simulationen, hvor klimapolitikken igangsættes i år 2010.

3.4.4 Cost-benefit-analyse

I dette afsnit foretages der en cost-benefit-analyse på den udskudte klimapolitik for at kunne sammenligne med klimapolitikken i afsnit 3.3, og for at kunne vurdere, hvilken klimapolitik, der er mest profitabel, udtryk som den klimapolitik, der resulterer i de højeste summerede nettofordele målt i nutidsværdi.



Figur 3.13. Figuren viser, nettofordelene ved den simulerede klimapolitik, der først påbegyndes i 2025, hvor ($M_0 = 0,09$, $m = 0,1011$), der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050, for perioden 2010-2130. Figur (A) viser de årlige nettofordele ved en diskonteringsrente på $3,5\%$. Figur (B) viser de årlige nettofordele ved en diskonteringsrente på $1,4\%$. Kilde: Egne simulationer og udregninger. Se bilag 6.3.6.

Sammenlignes resultaterne af cost-benefit-anaylsen i figur 3.13 med cost-benefit-analysen ved klimapolitikken i figur 3.7, fremgår det, at udskydelsen af klimapolitikken vil øge nettofordelene fra -2.427\$ til -2.070\$ ved en diskonteringsrente på $3,5\%$. Omvendt fremgår det, at udskydelsen vil resultere i, at nettofordelene vil falde fra 1.898$ til 1.593$ ved en diskonteringsrente på $1,4\%$. Ud fra simulationen ved en diskonteringsrente på $3,5\%$ vil der politisk kunne argumenteres for, at klimapolitikken bør udskydes, da nutidsværdi vil blive mindre negativ, når klimapolitikken udskydes. Omvendt vil der politisk, ud fra simulationen af en diskonteringsrente på $1,4\%$, kunne argumenteres, for at klimapolitikken igangsættes så hurtigt som muligt, i og med at nutidsværdien af nettofordelene er faldende, når klimapolitikken udskydes. Overordnet set vil der kunne argumenteres for, at den mest profitable klimapolitik er en klimapolitik, som igangsættes hurtigst muligt, da denne giver, den største nutidsværdi af nettofordelene.

3.5 Den 'optimale' klimapolitik

Når der generelt skal foretages samfundsøkonomiske investeringer, er der flere forskellige muligheder for, hvilke projekter det er, der kan investeres i. Da samfundet har begrænset ressourcer til rådighed, betyder det, at ikke alle projekter er mulige at investere i. I forhold til klimainvesteringer findes der mange forskellig mulige investeringsprojekter, hvor dette i forhold til simulationen kan sammenlignes med, at der er forskellige CO_2-reducerende stier, der kan følges. En metode, der kan anvendes til at afgøre, hvilke projekter der bør investeres i, er ved at finde de investeringer, eller i kontekst af simulationen, den CO_2-reducerende sti, der er mest cost-effective. I forbindelse med cost-benefit-analysen betyder det derfor, at den investering eller sti, der maksimerer nutidsværdien, er at foretrække, og vil i denne forbindelse blive defineret ud fra et neoklassisk synspunkt, som værende den 'optimale' investering.

Den 'optimale' klimapolitik, defineret som den klimapolitik, hvor nutidsværdien af nettofordelene maksimeres, afhænger af, hvad diskonteringsrenten fastsættes til. Dette er derfor yderligere med til at styrke opfattelsen af, at diskonteringsrenten er den dominerende beslutningsvariabel i bestemmelsen af, hvilken klimapolitik der skal føres. For at finde de optimale værdier for hhv. M_0 og m er det nødvendigt først at bestemme, hvilke diskonteringsrenter der skal undersøges. I dette afsnit vil diskonteringsrenten fra hhv. The Stern Review anvendes på $1,4\%$, og Nordhaus' diskonteringsrente på $3,5\%$. Som nævnt i afsnit 3.3.5, så spiller tidshorisonten også en relevant rolle. Men der vil i undersøgelsen af den 'optimale' klimapolitik blive anvendt samme tidshorisont som tidligere, fra 2010 til 2130 for at være konsekvente, og for at kunne fremstille resultater, der kan sammenlignes.

Hvis der ingen overordnet agenda er med klimapolitikken, fx CO_2-neutralitet eller en begrænsning for, hvor meget den gennemsnitlige verdenstemperatur må stige, så vil de optimale værdier for klimapolitikken være som følgende i tabel 3.3. Disse værdier er udregnet metodisk ved en trail-error proces, hvor forskellige værdier er indsat for hhv. M_0 og m i simulation, indtil der ud fra simulationen af cost-benefit-analysen er fundet de værdier for M_0 og m, der maksimerer nettofordelene, målt i nutidsværdi[12].

Diskonteringsrente	M_0	m	Nettofordele i nutidsværdi
Optimal værdi ved $3,5\%$	0,16	0,009	1.197$
Optimal værdi ved $1,4\%$	0,44	0,000	11.438$

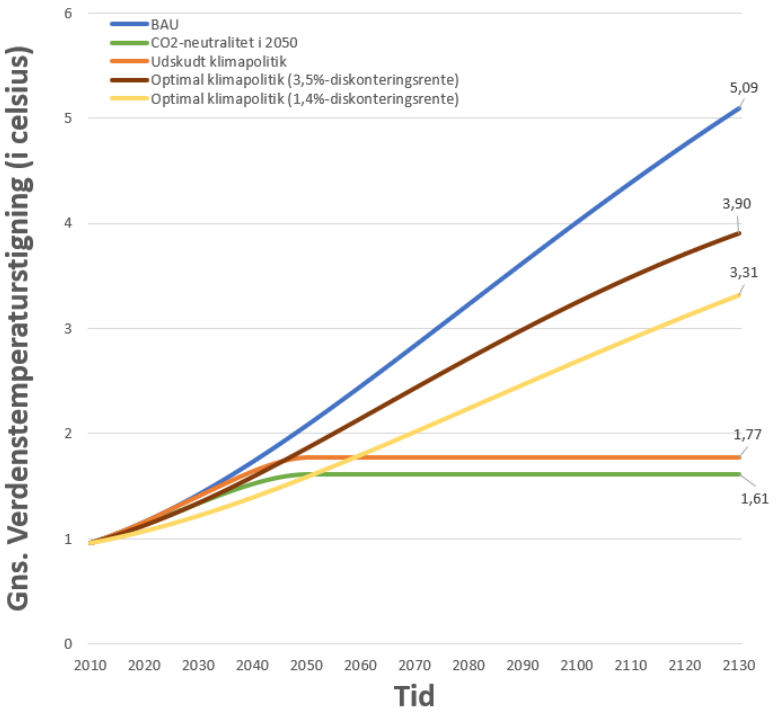
Tabel 3.3. Tabellen viser parameterværdier for M_0 og m, der maksimerer nettofordelene, samt hvad nettofordelene er.
Kilde: Egne simulationer og udregninger. Se bilag 6.3.9 & bilag 6.3.10.

Værdierne, der fremgår i tabel 3.3, er de teoretiske værdier for hhv. M_0 og m, der maksimerer nutidsværdien af nettofordelene. Det skal derfor ikke ses som værende realistisk

[12] Alternativt kunne der have været opstillet et maksimeringsproblem, som skulle løses for værdierne M og m, men da dette ville være ressourcekrævende at opstille, i og med at der er 2 ubekendte, blev det vurderet, at det tidsmæssigt var mindre krævende at gennemføre en trail-error proces, end at opstille maksimeringsproblemet. Resultatet vil være det samme, bortset fra at i dette tilfælde er de optimale værdier fundet ned til 3 decimaler, hvor ved en programmeringstilgang til løsningen af maksimeringsproblemet ville værdier helt ned til det mindste decimal kunne findes. Målet med at finde de optimale politikker er ikke, at de skal anbefales. Det er for yderligere at fremvise, hvilken rolle som diskonteringsrenten har for, hvad der bliver den optimale klimapolitik.

gennemførte klimapolitikker. Formålet med at undersøge, hvad der teoretisk er de optimale klimapolitikker ved forskellige diskonteringsrenter, er for at kunne fremvise, hvilken betydning diskonteringsrenten har for, hvad der ifølge simulationerne økonomisk og politisk bør gennemføres.

For at undersøge, hvordan de to optimale klimapolitikker vil påvirke udviklingen i den gennemsnitlige verdenstemperatur, foretages der en simulation af dette, som fremgår nedenfor.

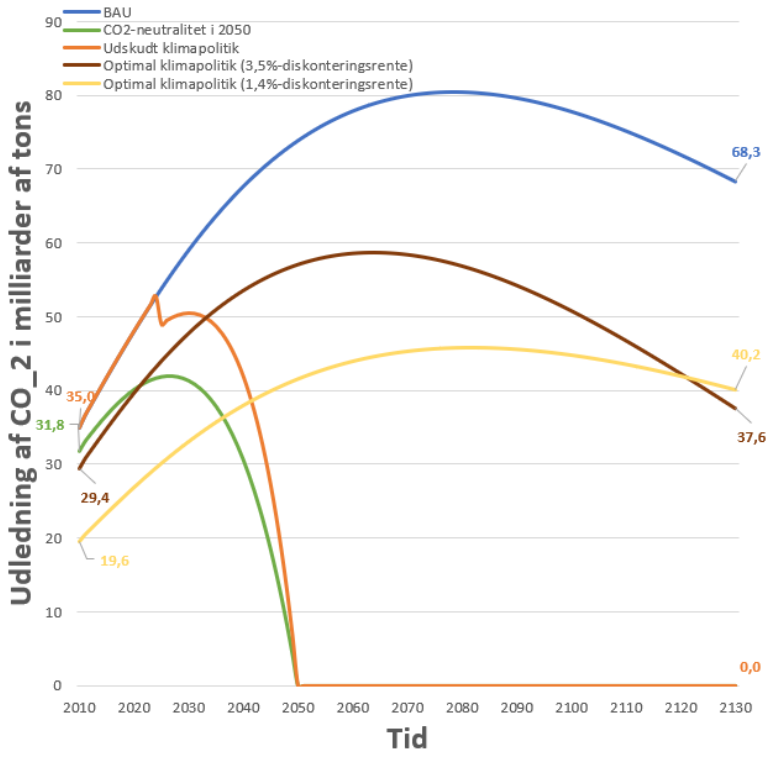


Figur 3.14. Figuren viser, hvordan den gennemsnitlige verdenstemperatur udvikler sig, ved simulationen af de ovenstående optimale klimastrategier, jf. tabel 3.3 for perioden 2010-2130.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.7 & bilag 6.3.8.

Af simulationsresultaterne i figur 3.14 fremgår det, at ved en diskonteringsrente på $3,5\%$ vil den gennemsnitlige verdenstemperatur stige til $3,9°$C, hvor ved en diskonteringsrente på $1,4\%$ vil den gennemsnitlige verdenstemperatur stige til $3,31°$C. Forskellen herimellem udgør $0,59°$C. Resultatet af simulationen viser derfor, at ved en lavere diskonteringsrente reduceres hastigheden, hvorved den gennemsnitlige verdenstemperaturstigning vokser. Sammenlignes begge teoretiske klimapolitikker med business-as-usual simulationen, vil de begge to lede til en mindre stigning i den gennemsnitlige verdenstemperatur.

Et andet interessant resultat, der fremkommer af simulationen, er, at ingen af diskonteringsrenterne og derved de teoretisk optimale klimapolitikker, vil sikre FN's klimamål om at holde den gennemsnitlige verdenstemperaturstigning på under $2°$C.

For at undersøge, hvordan det vil påvirke den årlige CO_2-udledning at føre de to teoretisk optimale klimapolitikker, simuleres effekten af disse på udledningen af CO_2.



Figur 3.15. Figuren viser, hvordan den årlige udledning af CO_2 udvikler sig, ved simulationen af de ovenstående optimale klimastrategier, jf. tabel 3.3 for perioden 2010-2130. Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.3.7 & bilag 6.3.8.

Af simulationsresultaterne i figur 3.15 fremgår det, at den årlige udvikling i udledningen af CO_2 ved en diskonteringsrente på $3,5\%$ vil stige fra $29,4$ milliarder tons i år 2010 frem imod år 2063, hvor udledningen vil nå et toppunkt på $58,8$ milliarder tons. Herefter vil udledningen falde over tid og vil i år 2130 udgøre $37,6$ milliarder tons. Ved en diskonteringsrente på $1,4\%$ vil den årlige udledning af CO_2 jf. simulationen stige fra $19,6$ milliarder tons i år 2010 til et toppunkt på $45,9$ milliarder tons i år 2082. Herefter ses også en aftagende udvikling i udledningen af CO_2, som i år 2130 vil udgøre $40,7$ milliarder tons.

Årsagen til, at den optimale klimapolitik ved en diskonteringsrente på $3,5\%$ falder hurtigere frem imod år 2130, er, fordi klimapolitikken her strammes med $0,09\%$ hvert år, hvorved simulationen af den optimale klimapolitik ved en diskonteringsrente på $1,4\%$, strammes klimapolitikken ikke over tid. Hovedresultatet ud fra simulationerne er, at ingen af de teoretisk optimale strategier vil lede til CO_2-neutralitet i år 2050.

3.6 Opsamling af simulationsresultater

Dette afsnit vil kort opsummere simulationsresultaterne af simulationerne i analysen med henblik på at få en overskuelig oversigt over resultaterne. I tabel 3.4 fremgår simulationsresultaterne af de forskellige simulationer for den gennemsnitlige verdenstemperatur, CO_2-udledning og output pr. arbejder i år 2130.

Simulationen:	Temp.stigning i 2130	CO_2-udledning 2130	Output pr. arbejder 2130*
BAU	$5,09°C$	68,3 mia. tons	39.978$
CO_2-neutralitet i 2050	$1,61°C$	0 mia. tons	42.217$
Udskudt politik	$1,77°C$	0 mia. tons	42.140$
Optimal politik (3,5%)	$3,90°C$	37,6 mia. tons	41.188$
Optimal politik (1,4%)	$3,31°C$	40,2 mia. tons	41.795$

Tabel 3.4. Tabellen viser simulationsresultaterne ved de forskellige simulationer.
*Ved alle andre simulationer pånær BAU, er resultatet af output pr. arbejder fratrukket omkostningerne ved klimapolitikken.
Kilde: Egne simulationer og udregninger.

Ud fra simulationsresultaterne i tabel 3.4 ses der betydelige forskelle i temperaturstigningen i år 2130. Ved CO_2-neutralitet i år 2050 og den udskudte klimapolitik, vil den gennemsnitlige temperaturstigning holde sig på et niveau under de 2°C, mens temperaturstigningen for business-as-usual og en optimal klimapolitik med en diskonteringsrente på hhv. $3,5\%$ og $1,4\%$ vil stige til over de 2°C. Hvis der ses på CO_2-udledningen i år 2130 vil der kun være nul CO_2-udledning i scenarierne, som fører til CO_2-neutralitet i år 2050. I de andre tilfælde vil udledningen af CO_2 stadig ligge på et højt niveau.

Ud fra simulationsresultaterne vil output pr. arbejder i 2130 ligge på det højeste niveau ved CO_2-neutralitet i 2050 og den udskudte klimapolitik. Dermed vil en klimapolitik, som resulterer i CO_2-neutralitet i 2050 ifølge simulationerne, give et højere output pr. arbejder i 2130, end hvad tilfældet vil være, hvis der ikke føres denne klimapolitik. Årsagen til dette resultat er, at de stramme klimapolitikker leder til, at der udledes meget mindre CO_2, og derved mindskes skadesfunktionen betydeligt i disse simulationer.

I tabel 3.5 fremgår nettofordelene af cost-benefit-analyserne ved diskonteringsrenter på hhv. $3,5\%$ og $1,4\%$.

Simulationen:	Diskonteringsrente (3,5%)	Diskonteringsrente (1,4%)
CO_2-neutralitet i 2050	-2.427$	1.898$
Udskudt politik	-2.070$	1.593$

Tabel 3.5. Tabellen viser resultaterne af cost-benefit-analyserne ved de forskellige simulationer ved diskonteringsrenter på hhv. $3,5\%$ og $1,4\%$.
Kilde: Egne simulationer og udregninger.

I tabel 3.5 fremgår det, at nettofordelene for de førte klimapolitikker afhænger markant af diskonteringsrenten. I tabellen ses det, at ved en klimapolitik, som resulterer i CO_2-neutralitet i 2050, vil, nettofordelene ved en diskonteringsrente på $3,5\%$ vil være markant lavere end tilfældet ved en diskonteringsrente på $1,4\%$. Når klimapolitikken udskydes, ses det at påvirke nettofordelene ved en diskonteringsrente på $3,5\%$ positivt, hvorimod det påvirker nettofordelene ved en diskonteringsrente på $1,4\%$ negativt. Diskonteringsrenten spiller en vigtig rolle i beslutningen af, hvilken klimapolitik der er profitabel at gennemføre.

I det næste kapitel vil der blive foretaget en diskussion af simulationsresultaterne, som er blevet fremstillet i dette kapitel.

Diskussion 4

I dette kapitel vil der indledningvist blive foretaget en diskussion af, hvorledes det er muligt at opnå global bæredygtig økonomisk vækst jf. definitionen i afsnit 2.4. Diskussionen vil tage udgangspunkt i, hvordan forskellige aspekter har betydning for, hvilke analytiske resultater der fremkommer. Herefter vil grønt versus traditionelt BNP blive diskuteret. Efterfølgende vil der foretages et kritikafsnit med henblik på at diskutere den simple klima Solow-models svagheder, hvor det også vil diskuteres, hvordan klimapolitikken i forbindelse med modellen kan fastsættes i praksis. Afslutningsvist vil der foretages en politisk diskussion af, hvorledes det er muligt at få integreret en global klimapolitik, som skal være gældende og overholdes i alle verdens lande.

4.1 Er bæredygtig global økonomisk vækst muligt?

I dette afsnit diskuteres det, på baggrund af resultaterne i analysen, hvorledes det er muligt at opnå global bæredygtig økonomisk vækst. Det vil i afsnittet fremhæves, hvordan forskellige aspekter spiller en vigtig rolle i at afgøre, om det er muligt at opnå global bæredygtig økonomisk vækst eller ej. I underafsnittene vil det blive diskuteret, hvilken betydning modelvalget har for, hvilke konklusioner, som er mulige at drage. Derudover vil diskonteringsrentens betydning diskuteres, for hvilke konklusioner der kan drages ud fra analysen. Ydermere vil det blive diskuteret, hvordan definitionen af bæredygtighed påvirker de konklusioner, der drages på baggrund af simulationsresultaterne. Afslutningsvist vil parameter- og begyndelsesværdiernes betydning for simulationsresultaterne blive diskuteret.

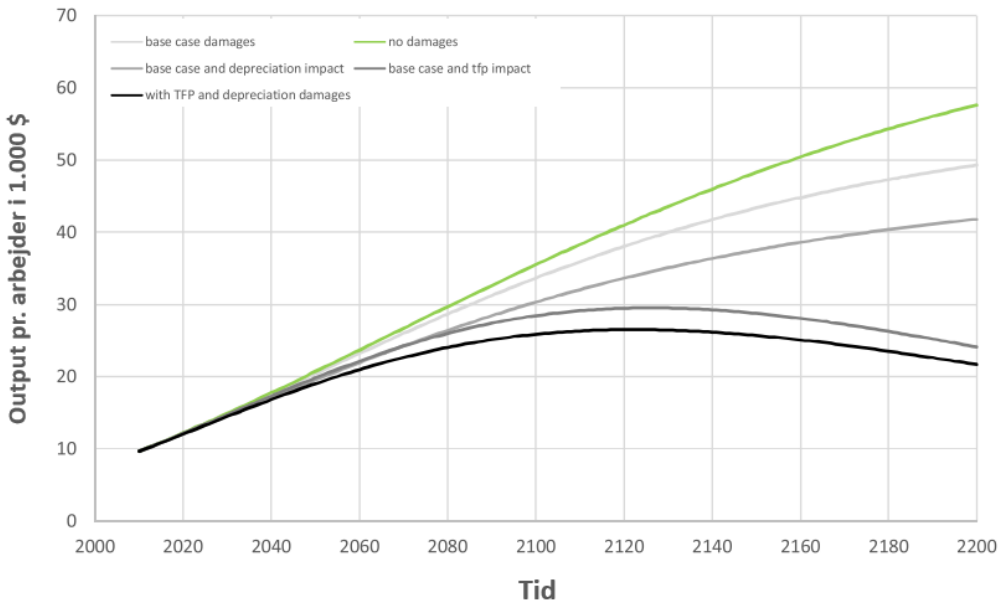
4.1.1 Modelvalg

Givet problemformuleringen, er det blevet valgt at anvende den simple klima Solow-model til at analysere problemformuleringen med. Men det er vigtigt at påpege, at der også findes andre modeller, der ligeledes kunne have været anvendt til at analysere problemformuleringen med. Fx den tidligere præsenterede DICE-model[1]. Der eksisterer også andre IAM-modeller, der bl.a. anvendes af FN's klimakonvention til at estimere klimaforandringerne med, såsom AIM-modellen, FUND-modellen, MERGE-modellen, NEMSIS-modellen og 25 andre IAM-modeller [FN's klimapanel]. Simulationsresultaterne fra disse modeller viser forskellige niveauer, det udtrykker derfor, at de konkrete værdier, der fremkommer som et resultat af simulationerne er modelafhængige.

[1]For at kunne udføre cost-benefit-analyser i denne, er det nødvendigt at købe en licens til GAMS, der er et generelt algebraisk modelleringssystem. Det ligger bl.a. også til grund for at DICE-modellen ikke blev anvendt.

Yderligere er det interessant at overveje, at forskellige simulationsresultater også kan fås i den samme model. Et konkret eksempel på dette er, fx at Stern anvender DICE-modellen, men med en lavere diskonteringsrente, og får nogle helt andre resultater og derved en helt anden konklusion i den samme model. Han kommer bl.a. frem til, at der skal investeres meget mere i reduktionen af CO_2 nu og her, end hvad Nordhaus kommer frem til [Nordhaus og Sztorc, 2013].

I afsnit 2.1.1 blev det nævnt, at den simple klima Solow-model kan udvides og gøres mere kompleks, hvis det ønskes. Til at besvare problemformulering med er dette ikke valgt, da ønsket er en simpel model, som simpelt kan forklare dynamikkerne imellem de forskellige ligninger. Det at udvide modellen og dermed gøre den mere kompleks vil påvirke, hvilke simulationsresultater der fremkommer.



Figur 4.1. Figuren viser simulationen af output pr. arbejder i fem forskellige udgaver af den simple klima Solow-model fra år 2010 til år 2200.
Kilde: [Tsigaris og Wood, 2016, s. 73].

I figur 4.1 fremgår simulationer af udviklingen i output pr. arbejder af forskellige varianter af den simple klima Solow-model. I simulationen af modellen *no damages* bliver skadesfunktionen ikke anvendt og simulationen *base case damages* er den model, som anvendes i specialet til at udføre simulationer af business-as-usual.

Den tredje simulation, som fremgår i figur 4.1, er, hvor der nu tilføjes til modellen, at temperaturstigningen også har en effekt på deprecieringsraten af kapital. Argumentationen for, at dette kan tilføjes til modellen, vil være, at det er nemt at forestille sig, at højre temperaturer og udsving i vejret vil lede til, at fysisk kapital har en kortere levetid, og derved skal der anvendes mere kapital til at opretholde værdien af den fysiske kapital, som et resultat af klimaforandringerne. Konsekvensen af dette vil være, at en større andel af investeringerne skal allokeres til at dække disse øgede omkostninger, og vil derfor ikke blive anvendt til nye investeringer. Disse øgede udgifter til nødvendige investeringer for at holde kapital-arbejdskraftsratioen konstant, reducerer kapital pr. arbejder og dermed output pr.

arbejder.

Den fjerde simulation, som fremgår i figur 4.1, er, hvor det tilføjes til modellen, at temperaturstigningen også har en effekt på udviklingen i teknologiniveauet. Der kunne være en forestilling om, at vækstraten i teknologiniveauet vil blive påvirket negativt af temperaturstigninger, da ressourcer vil blive omplaceret fra R&D til i stedet at blive brugt på klimatilpasning og genopbygningen af kapital pga. skaderne, som klimaforandringerne er skyld i. Det er samtidigt også påvist, at risikoen for menneskelige konflikter øges med varmere klima, og der er en negativ sammenhæng mellem økonomisk vækst og højere temperaturer [Tsigaris og Wood, 2016, s. 72]. En lavere vækst i teknologiniveauet vil lede til et lavere output pr. arbejder jf. ligning 2.9.

Den femte simulation, som fremgår i figur 4.1, er, hvor temperaturstigningen både påvirker deprecieringsraten af kapital og væksten i teknologiniveauet. Det påvirker derfor yderligere output pr. arbejder til at ligge på et endnu lavere niveau.

Konsekvenserne ved at gøre modellen, mere kompleks i forhold til cost-benefit-analysen vil være, at gevinsterne ved at føre klimapolitik vil være meget højere, og derved vil en analyse, foretaget på den femte simulation i figur 4.1 tale for, at der investeres intensivt i klimaforbedringer nu og her. Dette er, fordi gevinsterne ved at bekæmpe klimaforandringerne vil være langt større, fordi de skader, som der vil opstå ved klimaforandringerne grundlæggende, vil være større end i tilfældet ved business-as-usual simulationen i analysen.

Diskussionen i dette underafsnit indikerer derfor, at modelvalget har stor betydning for, hvilke konklusioner det er, som drages, når problemformuleringen forsøges at besvares.

4.1.2 Diskonteringsrenten

I dette afsnit vil diskonteringsrentens betydning for opnåelsen af global bæredygtig økonomisk vækst blive diskuteret. Som beskrevet i afsnit 2.1.4 er diskonteringsrenten en dominerende beslutningsvariabel, når det skal vurderes, hvordan den fremtidige klimapolitik bør sammensættes ud fra en cost-benefit-analyse.

I afsnit 3.3.4 blev der ud fra cost-benefit-analysen anvist nettofordelene for en diskonteringsrente på $3,5\%$ og $1,4\%$. Ved en diskonteringsrente på $3,5\%$ blev de årlige nettofordele ved at føre en klimapolitik, som resulterer i CO_2-neutralitet i år 2050 negative, hvor de årlige nettofordele ved en diskonteringsrente på $1,4\%$ blev positive. Dermed har diskonteringsrenten en stor betydning for, hvorvidt det vil være profitabelt at føre en klimapolitik, som resulterer i CO_2-neutralitet i år 2050. Ved en højere diskonteringsrente vil det ikke være profitabelt at føre en så stram klimapolitik, da omkostningerne ved klimapolitikken overstiger de fremtidige gevinster. Men hvis der derimod bliver brugt en lav diskonteringsrente, så vil det godt kunne betale sig at føre en stram klimapolitik, da de gevinster, som opstår i fremtiden ved en stram klimapolitik, er højere end de omkostninger, som er forbundet med klimapolitikken.

I afsnit 2.1.4 blev det beskrevet, at jo højere diskonteringsrente, des mindre incitament til at reducere udledningen i dag, hvor ved en lav diskonteringsrente vil incitamentet være større.

Den samme tendens ses i cost-benefit-analysen i afsnit 3.4.4, hvor nettofordelene ved at føre den udskudte klimapolitik er højere ved en lav diskonteringsrente end ved en høj. Dog er nutidsværdien af nettofordelene ved en diskonteringsrente på $3,5\%$ ved den udskudte klimapolitik mindre negative end ved den klimapolitik, som starter i år 2010, derved kan det politisk argumenteres, for at det er fordelagtigt at udskyde klimapolitikken. Hvis diskonteringsrenten fastsættes til $1,4\%$ i den udskudte klimapolitik, vil nutidsværdien af nettofordelene være mindre end ved den klimapolitik, der ikke var udskudt, og derfor kan der politisk argumenteres for, at klimapolitikken skal igangsættes så hurtig som mulig. Selvom en højere diskonteringsrente taler for en langsommere stramning af klimapolitikken, så angiver den alligevel, at der er positive nettofordele på sigt forbundet ved at bekæmpe klimaforandringerne. Det betyder derfor, at det samfundsøkonomisk er mere rentabelt at føre en klimapolitik end slet ikke at gøre noget for klimaet. Problemet er bare, at en høj diskonteringsrente påvirker hastigheden, som klimaforandringerne bekæmpes ved, og kan derfor potentielt lede til, at denne hastighed bliver for langsom, og omkostningerne derved vil overstige gevinsterne.

Da Nordhaus bruger en høj diskonteringsrente, vil han i sin konklusion kun tillægge klimaomkostningerne i fremtiden en lav vægt, derfor er det ikke nødvendigt at gennemføre en meget stram og hurtig klimapolitik ifølge ham. Hvor Stern på den anden side bruger en lavere diskonteringsrente, da han tillægger de fremtidige klimaomkostninger en større vægt, fordi Stern mener, at fremtidige generationers velfærd ikke skal tillægges en mindre vægt end den nutidige generations. I Sterns tilfælde vil det optimale være at gennemføre en strammere og hurtigere klimapolitik, end hvad tilfældet vil være ved anvendelse af den diskonteringsrente, som Nordhaus bruger. Det skal dog også påpeges, at Stern sammen med Dietz har videreudviklet på DICE-modellen, hvor han har tilføjet, koncepterne fra afsnit 4.1.1 med at temperaturstigningerne også påvirker hhv. deprecieringsraten og udviklingen i teknologiniveauet, da Nordhaus ikke har disse dynamikker med i DICE-modellen [Dietz og Stern, 2015]. Dette har derfor også en betydning for Sterns senere konklusioner i arbejdet med DICE-modellen.

Den neoklassiske økonomiske skole er nutidsfikseret og vægter dermed nutidigt forbrug højere end det fremtidige forbrug, hvilket kan være med til at foreklare, hvorfor der anvendes høje diskonteringsrenter af neoklassiske økonomer og i deres modeller.

Som det også blev fremvist i afsnit 2.1.4, så fastsætter finansministeriet i Danmark og Storbritannien landenes diskonteringsrenter til $3,5\%$, hvilket påvirker den grønne omstilling betydeligt, og hastigheden, hvorved der kan opnås CO_2-neutralitet, som også analysen viser. Det udtrykker derfor, at de enkelte landes finansministerier spiller en enorm rolle for fremtidens klimapolitik og har et kæmpe ansvar for, at diskonteringsrenten, som anvendes i cost-benefit-analyser af klimapolitikker ikke bliver fastsat for højt.

Diskussionen i dette underafsnit indikerer derfor, at diskonteringsrenten har en afgørende betydning for, hvilke konklusioner det er, som drages, når problemformuleringen forsøges at besvares.

4.1.3 Definition af global bæredygtig økonomisk vækst

Hvorledes definitionen af global bæredygtig økonomisk vækst er med til at påvirke resultaterne i analysen, er relevant at diskutere. I specialet bliver bæredygtig økonomisk vækst defineret som en økonomisk vækst, der leder til nuludledning af CO_2 i år 2050 jf. afsnit 2.4, dermed sigtes der i to af simulationerne af klimapolitikker efter at opnå dette kriterie. Ved denne definition vil det ud fra simulationerne i afsnit 3 være teoretisk muligt at opnå bæredygtig økonomisk vækst i år 2050, hvis der føres en klimapolitik, som stræber efter at nå dette mål. Hvis der derimod ses på den brede definition, jf. afsnit 2.4, som er, at fremtidige generationer ikke må stilles dårligere, end de nuværende generationer, så vil der kunne drages andre resultater ud af simulationerne. Hvis der i dette tilfælde bliver set på output pr. arbejder i business-as-usual scenariet i afsnit 3.2, så vil det ikke være nødvendigt at foretage klimapolitiske stramninger, da de fremtidige generationer ifølge simulationerne vil have et højere output pr. arbejder, end generationerne i dag har. Dermed vil der ifølge den brede definition af bæredygtig økonomisk vækst allerede eksistere global bæredygtig økonomisk vækst. Dette gør sig dog kun gældende, hvis man betragter definitionen ud fra output pr. arbejder niveauet. Hvis skyggepriserne, som fx de sociale omkostninger, der er forbundet med klimaforandringerne, fratrækkes fra output pr. arbejder, er det tvivlsomt, om man stadigvæk ville definere den globale økonomiske vækst som værende bæredygtig.[2]

Hvis definitionen af bæredygtig økonomisk vækst derimod var, at den globale stigning i gennemsnitstemperaturen skulle ligge under 2°C, ville der muligvis først kunne opnås CO_2-neutralitet senere end år 2050, fordi hastigheden for reduktionen i udledningen ville være langsommere. Dette kan for eksempel være, fordi der vil blive ført en klimapolitik, hvor temperaturstigningen rammer lige under de 2°C. Hvis der ses på simulationerne i figur 3.10 når den globale temperaturstigning i scenariet med klimapolitikken og den udskudte klimapolitik ikke op i nærheden af de 2°C, derfor må det antages, at hvis der bliver ført en klimapolitik, hvor temperaturstigningen rammer lige under 2°C, så vil klimapolitikken blive udskudt så langt frem som muligt eller også vil hastigheden af reduktionen i udledningen være langsommere, afhængigt af valget for diskonteringsrenten i cost-benefit-analysen, og dermed vil der først opnås CO_2-neutralitet senere end år 2050.

Diskussionen i dette underafsnit indikerer derfor, at definitionen af bæredygtig økonomisk vækst har en betydning for, hvilke konklusioner det er, som drages, når problemformuleringen forsøges at besvares.

4.1.4 Parameter- og begyndelsesværdier

Da resultaterne fra analysen skal anvendes til at kunne besvare specialets problemformulering med, er det relevant at sætte spørgsmålstegn ved, hvor afhængige analysens resultater er af, hvad parameter- og begyndelsesværdierne i simulationerne fastsættes til. Som nævnt i analysen, så tillader simulationen af business-as-usual at bygge grundlag for en diskussion af, hvor følsomme resultaterne fra simulationen af den simple klima Solow-model er, hvis der foretages ændringer i disse værdier. Principielt kunne denne undersøgelse foretages på hver enkelt parameter- og begyndelsesværdi for at afdække, hvordan modellen reagerer på ændringer i de forskellige værdier. Men for ikke at overfylde diskussionen med endnu flere simulationer og blot rykke på værdierne ud fra arbitrære ændringer, vælges det i stedet

[2] Eller hvis omkostningerne ved irreversible klimaforandringer også blev medregnet

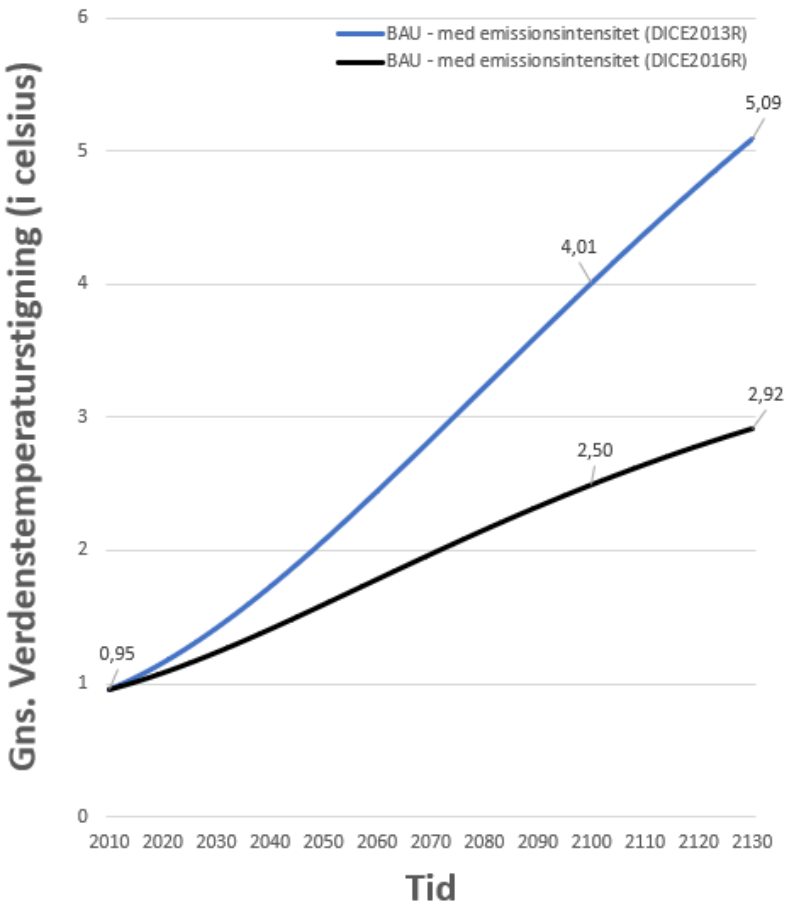
at kigge på en konkret parameter og udviklingen i denne, der spiller en afgørende rolle i simulationerne. Denne parameter er emissionsintensiteten, og denne har en afgørende rolle, da den udtrykker mængden af CO_2, der udledes ved produktionen, hvilket påvirker udviklingen i den gennemsnitlige verdenstemperatur og derigennem skadesfunktionens størrelse i modellen og derfor output pr. arbejder funktionen.

Årsagen til at netop denne parameter vælges er, at Nordhaus i sin fastsættelse af parameterværdien for hhv. emissionsintensiteten σ_0 og væksten i emissionsintensiteten g_σ, anvender forskellige værdier i DICE-modellen fra 2013 og 2016, hvor forskellen er forholdsvis stor taget i betragtning af at modellens værdier kun er fastsat med 3 års mellemrum.

Forklaring	DICE-2013R	DICE-2016R
Emissionsintensiteten (σ_0)	0,549	0,35
Væksten i emissionsintensiteten (g_σ)	-0,01	-0,015

Tabel 4.1. Parameterværdierne for emissionsintensiteten og væksten heri i DICE-modellen fra hhv. 2013 og 2016.
Kilde: [Nordhaus og Sztorc, 2013, s. 14] & [Nordhaus].

I tabel 4.1 fremgår de forskellige værdier, som Nordhaus anvender i DICE-modellen fra hhv. år 2013 og år 2016. Heraf ses det, at emissionsintensiteten fastsættes på et væsentligt højere niveau i DICE-2013R, end hvad den bliver fastsat til i DICE-2016R. Derudover kan det også ses, at den negative vækst i emissionsintensiteten, dvs. hvor hurtigt væksten falder over tid er højere i DICE-2016R. I simulationen af business-as-usual i analysen anvendes værdierne for emissionsintensiteten og væksten heri fra DICE-2013R. For at undersøge, hvordan det vil påvirke den gennemsnitlige verdenstemperaturudvikling at bruge fastsættelsesværdierne fra DICE-2016R i stedet, anvendes disse i en simulation af buisness-as-usual modellen, hvor emissionsintensiteten, σ_0, fastsættes til $0,35$, og væksten i emissionsintensiteten, g_σ, fastsættes til $-0,015$. Simulationsresultaterne heraf fremkommer i nedenstående figur 4.2.



Figur 4.2. Figuren viser en simulation af, hvordan den gennemsnitlige verdenstemperatur udvikler sig, ved anvendelsen af parameterværdierne for emissionsintensiteten fra hhv. DICE-2013R og DICE-2016R, for perioden 2010-2130.
Kilde: Egne simulationer. Se bilag 6.4.

Det fremgår af figur 4.2, at hvis værdierne for emissionsintensiteten og væksten i emissionsintensiteten anvendes fra DICE-2016R, vil den gennemsnitlige verdenstemperatur være steget til $2,92°C$ i år 2130. Denne stigning vil være $2,17°C$ lavere end i simulationen, hvor værdierne for emissionsintensiteten og væksten i emissionsintensiteten anvendes fra DICE-2013R. Resultaterne af simulationerne viser derfor, at værdierne for emissionsintensiteten og væksten i emissionsintensiteten har en stor betydning for, hvilke resultater, som simulationen kommer frem til. CO_2-udledningen i denne simulation, vil være $24,9$ milliarder tons[3] i år 2130, hvor den tilsvarende var $68,3$ milliarder tons i år 2130 i simulationen med værdierne fra DICE-2013R. Derudover vil output pr. arbejder i denne simulation udgøre 42.316$[4] i år 2130, hvor output pr. arbejder tilsvarende var 39.978$ i år 2130 i simulationen med værdierne fra år 2013. Det er derfor vigtigt at pointere, at, hvordan de forskellige parameterværdier i simulationen fastsættes, spiller en central rolle i forhold til, hvilke resultater der fremkommer af simulationerne. Konsekvensen af at anvende BAU med emissionsintensitet fra DICE-2016R vil være, at gevinsterne, udtrykt, i en cost-benefit-analyse vil være lavere, da skadesfunktionen grundlæggende vil ligge på et lavere niveau. Da gevinsterne er mindre, betyder det, at cost-benefit-analysens resultater

[3]Se bilag 6.4
[4]Se bilag 6.4

vil blive påvirket og det økonomiske incitament til at føre en klimapolitik, der vil lede til CO_2-neutralitet i år 2050 vil blive reduceret betydeligt.

I forlængelse af dette kan det påpeges, at i DICE-2013R fastsatte Nordhaus begyndelsesniveauet for teknologiniveauet, A_0, til at være $3,80$ [Nordhaus og Sztorc, 2013, s. 96], hvor han i DICE-2016R fastsatte begyndelsesniveauet for teknologiniveauet til at være $5,15$ [Nordhaus]. Det er en relativt stor forskel på så få år og kan være et udtryk for en generel usikkerhed i forbindelse med fastsættelsen af parameter- og begyndelsesværdier i forbindelse med simulationsarbejde. Denne usikkerhed omkring værdiernes nuværende og fremtidige størrelse kan betyde en væsentlig forskel i simulationsresultaterne.

Det må også forventes, at ændringer i parameterværdierne, der anvendes for både emissionsintensiteten og teknologiniveauet i DICE-modellen, må påvirke resultaterne af simulationer forholdsvist meget. Årsagen til dette er, at begge variable er centrale i DICE-modellen. DICE-modellen er bygget på, Ramsey-Cass-Koopman modellen, som er en videreudvikling af Solow-modellen, hvor en af hovedkonklusionerne, i forhold til hvad det er, der sikre, den langsigtede vækst er teknologiniveauet, og derfor vil fastsættelsen af denne spille en meget central rolle i vækstmodellen.

Diskussionen i dette underafsnit indikerer derfor, at resultaterne i analysen er meget afhængige af, hvad parameter- og begyndelsesværdierne fastsættes til. Det kan derigennem påvirke, hvilke konklusioner det er, som drages, når problemformuleringen forsøges at besvares.

4.1.5 Er bæredygtig global økonomisk vækst muligt?

Som de ovenstående underafsnit fremhæver, så afhænger resultaterne i analysen, i høj grad af hvilken model, der anvendes til at undersøge problemstillingen med, hvor selv samme model kan give forskellige resultater afhængigt af, hvilken diskonteringsrente der anvendes og tidshorisonten som cost-benefit-analysen af klimapolitikken i simulationen foretages over. Derudover påvirker definitionen af global bæredygtig økonomisk vækst også, hvilke mål der sigtes efter med simulationen, og definitionen er derfor også afgørende for de analytiske resultater. Yderligere påvirker parameter- og begyndelsesværdierne i simulationsmodellen, også, hvilke resultater der fremkommer af simulationen, da modellen er følsom overfor ændringer i disse.

Det kan derfor konkluderes, at ud fra det konkrete modelvalg, den simple klima Solow-model, en diskonteringsrente på $1,4\%$, tidshorisonten, den anvendte definition af global bæredygtig økonomisk vækst og simulationens parameter- og begyndelsesværdier, så er det teoretisk muligt at opnå en global bæredygtig økonomisk vækst, hvilket fremgår af simulationsresultaterne i afsnit 3.3. Men det vil kræve en meget stram klimapolitik.

Simulationsresultaterne viser yderligere, at det teoretisk er muligt at opnå global bæredygtig økonomisk vækst, hvis klimapolitikken udskydes og først igangsættes i år 2025, men konsekvenserne heraf vil være, at klimapolitikken skal være endnu strammere, og hvorledes dette er muligt i praksis, er mere tvivlsomt.

Denne bedrøvelse understøttes yderligere, når det betragtes, at Nordhaus har estimeret, hvad han vil vurdere den globale CO_2-reducerende rate, M_t, til at være i 2010. Ifølge

Nordhaus' estimater, som anvendes i DICE-2013R, fremgår det, at på baggrund af den nuværende globale klimapolitik, som opgøres igennem de enkelte landes klimapolitikker, var den globale CO_2-reducerende rate i 2010 svarende til 3,9%. Det er denne globale CO_2-reducerende rate, han anvender i simulationen af baseline-scenariet i DICE-modellen [Nordhaus og Sztorc, 2013, s. 96]. Hvad der dog er yderligere bekymrende, er, at Nordhaus i DICE-2016R estimerer den globale CO_2-reducerende rate for 2015 til at være $2,9\%$[5] [Nordhaus], dvs. at han 3 år senere, estimerer den eksisterende globale CO_2-reducerende rate til at være 1% lavere. Det fremgår ikke, hvorvidt dette fald skyldes en ny estimeringsmetode i DICE-2016R, eller om det er et udtryk for, at udviklingen i den globale CO_2-reducerende rate har været negativ.

4.2 Grønt versus traditionelt BNP

Hvorvidt det grønne BNP bør anvendes frem for det traditionelle BNP, kan være til diskussion, når der ses på en bæredygtig økonomisk udvikling. Som beskrevet i afsnit 2.3.3 medtager det grønne BNP også de klimaøkonomiske omkostninger, som opstår ved produktionen i form af ressource- og klimapåvirkninger. Dermed vil det grønne BNP alt andet lige ligge under det traditionelle BNP, da de klimatiske omkostninger bidrager negativt til det grønne BNP. Det vil også sige, at, jo større skaderne ved produktionen bliver, desto mindre vil BNP egentlig være, hvis det grønne BNP anskues. Men så længe det kun er det traditionelle BNP, der bliver betragtet, vil klimaskaderne ikke blive anset som omkostninger, og dermed vil det ud fra det traditionelle BNP se ud, som om BNP er stigende. Hvis det grønne BNP derimod betragtes, vil det se helt anderledes ud, for i takt med at produktionen stiger, og der ikke bliver taget højde for klimaet, så vil skaderne øges, og dermed vil de negative omkostninger, forbundet med produktionen også øges, hvilket er med til at mindske det grønne BNP.

Dermed kan det have stor betydning hvilken form for BNP, som betragtes, da der ved at se på det traditionelle BNP ikke nødvendigvis er incitament til at føre en stram klimapolitik, fordi de omkostninger, som opstår ved produktionen i form af bl.a. forurening og klimaforandringer ikke bliver fratrukket det traditionelle BNP. Hvorimod det grønne BNP medtager disse omkostninger, og derfor vil det grønne BNP ligge under det traditionelle BNP, hvis der ikke føres nogen klimapolitik. Hvis der derimod bliver ført en klimapolitik, så vil, det grønne BNP ligger under det traditionelle BNP, så længe de klimatiske omkostninger ved produktionen er større end gevinsterne, som opstår på sigt ved klimapolitikken.

En global omstilling mod at kigge på det grønne BNP frem for det traditionelle BNP vil kunne fremskynde en omstilling til global bæredygtig økonomisk vækst. En af grundene til dette kan være, fordi det grønne BNP er lavere, og kun vil stige, hvis de klimatiske omkostninger bliver reduceret i takt med produktionen, dermed vil der være et øget incitament til at indføre en klimapolitik hurtigst muligt for at kunne få det grønne BNP til at stige.

[5] Det er denne værdi Nordhaus anvender, for den CO_2-reducerende rate som begyndelsesværdi i 2015 i hans baseline-scenarie

4.2.1 Velstand vs. velfærd

Når bæredygtig økonomisk vækst skal betragtes, kan det diskuteres, hvorvidt mere velstand leder til mere velfærd. Velfærd er et vidt begreb, og i specialet bliver der valgt at betragte velfærd ud fra et bæredygtighedsperspektiv, hvor der fokuseres på klimaet. Det er muligt, at der ses en sammenhæng mellem, at øget velstand bidrager til mere velfærd i bl.a. udviklingslandene, hvor velstanden er lav, og en højere indkomst dermed vil give mere velfærd, fordi de mere basale behov nu kan opfyldes. Dog vil denne sammenhæng ikke nødvendigvis ses i de industrialiserede lande, fordi her er de basale behov allerede dækket, og dermed er det ikke sikkert, at en større indkomst leder til mere velfærd. For at kunne øge velfærden i bl.a. de industrialiserede lande kræver det også, at de immaterielle goder, som rent drikkevand og ren luft er tilgængelig for befolkningen. Som beskrevet i afsnit 2.3, vil der i takt med stigende velstand i samfundet ske en substitution fra kun at foretrække materielle goder til at efterspørge flere immaterielle goder i form af fx ren luft og drikkevand, hvilket giver incitament til at reducere forureningsniveauet, når landene når et vist velstandsniveau. Dermed vil nytten ved et renere klima være højere end nytten ved de materielle ting, hvilket betyder, at velfærden ikke nødvendigvis vil stige, i takt med at velstanden i samfundet stiger.

Derudover kan det også diskuteres, hvorvidt det er nødvendigt med stigende velstand i samfundet, eller om velfærden, kommer til at spille en større rolle, i takt med at landene bliver rigere.

Hvis figur 3.12 betragtes, ses det, at output pr. arbejder i de tre scenarier stiger med over 300% på 120 år, hvilket svarer til en global gennemsnitlig stigning i output pr. arbejder på lidt over $2,5\%$ hvert år. Hvorvidt det er nødvendigt med så stor en stigning i output pr. arbejder, kan være til diskussion, da det må formodes ikke at være nødvendigt med så stor en stigning for de rige og industrialiserede lande. Men når det kommer til udviklingslandene, som ikke har samme velstandsniveau som industrilandene, vil disse lande stå for en stor del af den samlede globale stigning i output pr. arbejder, hvilket de rige lande allerede har gjort siden det førindustrielle niveau.

En så stor stigning i output pr. arbejder øger muligvis velfærden i udviklingslandene, men ikke nødvendigvis i de industrialiserede lande, hvor det er substitutionen til de immaterielle goder, som kan øge velfærden her.

4.3 Kritik af den simple klima Solow-model

Som nævnt tidligere, så opstår fordelene ved at anvende den simple klima Solow-model igennem dens simpelhed. Især når det betragtes, at en simpel IAM-model kommer frem til de samme hovedkonklusioner som en kompleks IAM-model, som DICE-modellen, gør. Men i og med at modellen er simpel, opstår der nogle kritikpunkter af modellen. En helt central ting er den måde, hvorpå modellen modellerer temperaturstigninger. Modellen tager kun forbehold for den temperaturstigning, som sker som et resultat af udledningen af CO_2. Derved udelades udledningen af andre drivhusgasser, samt andre forbehold, som også er med til at påvirke den udvikling, der sker i den gennemsnitlige verdenstemperatur. Klimamodulet i DICE-modellen er meget mere komplekst og indeholder flere elementer, der påvirker udviklingen i den gennemsnitlige verdenstemperaturstigning. Bl.a. indeholder

modellen effekten, som verdenshavene har på udviklingen i temperaturen, aerosoler, ozon, albedoændringer og andre faktorer. Modellen behandler nogle andre drivhusgasser, dog ikke alle, som påvirker den globale gennemsnitstemperatur, men deres effekt fastsættes eksogent. Argumentet for dette er ifølge Nordhaus, at de spille en meget lille rolle, eller fordi deres effekter på nuværende tidspunkt er dårligt videnskabeligt forstået [Nordhaus og Sztorc, 2013, s. 17]. Det er vigtigt at pointere, at Nordhaus indrømmer, at det er svært at modellere, hvilke effekter alle disse faktorer konkret vil have på udviklingen i den gennemsnitlige verdenstemperatur.

Et andet kritikpunkt eller måske nærmere en mangel i den simple klima Solow-model er, at det ikke konkretiseres, hvordan klimapolitikken i praksis skal føres for at påvirke den CO_2-reducerende rate, M_t. Det vil diskuteres nærmere i det nedenstående underafsnit.

4.3.1 Hvordan fastsættes klimapolitikken?

I opsætningen og forklaringen af den simple klima Solow-model beskrives det ikke, hvordan det politisk er muligt at påvirke størrelsen på den CO_2-reducerende rate, M_t. I modellen er det i stedet angivet som værende et politisk instrument, der kan skrues på i forbindelse med simulationerne for at se, hvordan en given klimapolitik, der resulterer i en bestemt M_t værdi, påvirker modellen. Formålet med at inkorporere klimapolitikken i modellen, har netop været for at vise, hvordan klimapolitikker, som reducerer udledning af CO_2, påvirker de forskellige centrale variable i modellen, som den gennemsnitlige verdenstemperaturstigning, CO_2-udledningen og output pr. arbejder samt for at kunne udføre cost-benefit-analysen. Men det er også relevant at overveje, hvordan det i praksis politisk er muligt at ændre på størrelsen for den CO_2-reducerende rate, samtidigt med, at det overvejes, hvorledes de værdier, der i analysen anvendes teoretisk for M_0 og m også er praksis mulige.

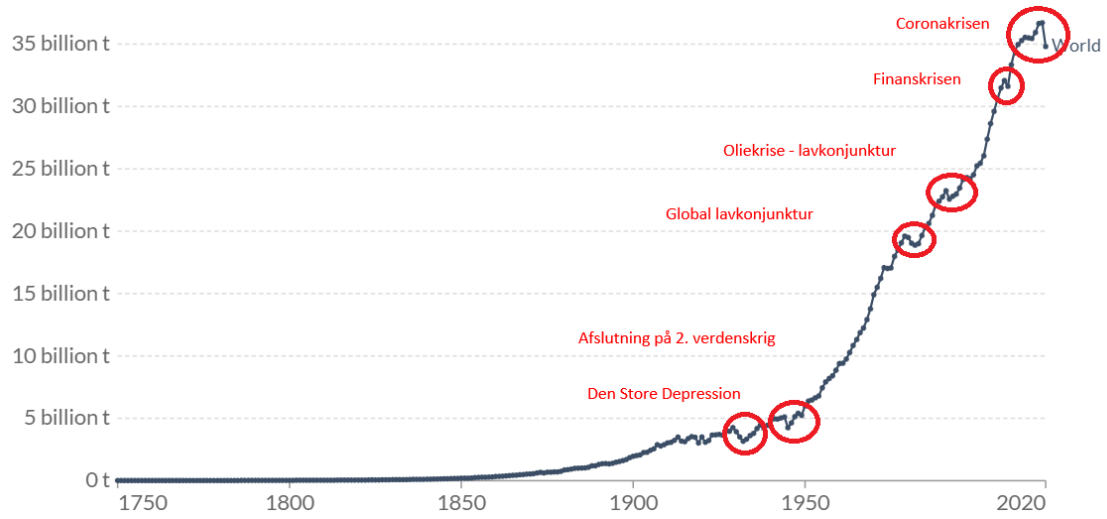
I DICE-modellen udtrykkes klimapolitikken igennem en prissætning på udledningen pr. ton af CO_2. At øge prisen på udledningen pr. ton af CO_2 øger den CO_2-reducerende rate. Det er derfor en måde konkret at modellerer klimapolitikken ud fra. Alternativt kan det også være omstilling til grøn energi derigennem stille det som et krav, at der bliver brugt en bestemt type af energi i produktionen. Omkostningerne ved renere energi er højere, men resulterer i mindre udledning af CO_2. Det kan også være krav til affaldssortering, fx en omstilling til en cirkulær økonomi, hvor en større andel af affald bliver genanvendt i produktionen, og derved skal der skaffes færre nye råvarer, som så har et mindre klimaaftryk. Det kan også være, at CO_2-filtre skal anvendes ved virksomheders produktion. Generelt set, kan alle klimapolitikker anvendes[6], til at udtrykke den CO_2-reducerende rate, så længe den politiske beslutning resulterer i et fald i udledningen af CO_2. Formålet med specialet er ikke at komme med et bud på, hvilken konkret politik det er, der skal føres. Formålet har i stedet været at undersøge teoretisk, ud fra anvendelsen af klimapolitik, som et instrument, om det er muligt at opnå global bæredygtig økonomisk vækst.

Omvendt er det meget centralt at diskutere de værdier, der i analysen bliver anvendt for hhv. M_0 og m, samt hvorledes det overhovedet er realistisk at føre den anvendte klimapolitik. Hvis klimapolitikken, der resulterer i CO_2-neutralitet i 2050, betragtes fra

[6] Der findes enormt meget litteratur om, hvordan det både på virksomheds-, privat- og samfundsniveau er muligt at reducere klimaaftrykket, udtrykt som udledning af CO_2.

afsnit 3.3, så fastsættes $M_0 = 9\%$ og $m = 6,21\%$. Det kræver altså derfor, at den CO_2-reducerende rate på global plan skal ramme 9% det første år, hvor klimapolitikken igangsættes, og dette virker meget urealistisk, i og med som nævnt tidligere, at Nordhaus estimerede den til at være $3,9\%$ i DICE-2013R. Omstillingen i produktionen ville være enormt omfattende, det første år, men ikke alene det, så skulle den CO_2-reducerende rate fremadrettet øges med $6,21\%$, hver enkelt år. Til sammenligning øges den CO_2-reducerende rate fra år 2010 til år 2020 fra 2,9% til 19% i simulationen af den optimale klimapolitik i DICE-2016R. Herefter øges den CO_2-reducerende rate i gennemsnit med 3,7% hvert enkelt år frem mod år 2115, hvor verden bliver CO_2-neutral ifølge simulationen. En gennemsnitlig årlig stigning på 3,7% er væsentligt lavere end de 6,21% i analysen, men her er det vigtigt at overveje, at modellen i analysen vil sikre CO_2-neutralitet allerede i år 2050 [Nordhaus]. Det er svært at forestille sig, at en reduktion på $6,21\%$ kan lade sig gøre i praksis, og det vil kræve et globalt tæt samarbejde, som alle lande vil deltage i på lige fod, hvilket historisk også viser sig at være tæt på umuligt. Især taget i betragtning af, at nogle lande ikke er samarbejdsvillige[7]. Men også fordi nogle lande i verden simpelthen er så fattige, at de ikke ville have de økonomiske ressourcer til at hjælpe med denne omstilling. Omvendt vil det heller ikke være disse fattige lande, der har det største klimaaftryk på nuværende tidspunkt. Men det vil kræve altruisme fra de rigere lande af, som ville skulle bidrage til også at hjælpe de fattige lande med omstillingen. Der vil også være andre politiske udfordringer forbundet med dette, som vil blive diskuteret kort i afsnit 4.4.

Den faktiske udvikling i udledning af CO_2 de enkelte år fra år 1750 til år 2020 fremgår i figur 4.3.



Figur 4.3. Figuren viser den faktiske årlige udvikling i den globale udledning af CO_2 i milliarder af tons, i perioden fra år 1750 til år 2020.
Kilde: [Ritchie et al., 2020].

Det fremgår af figur 4.3, at der er sket en markant stigning i den årlige udledning af CO_2, især fra efter 2. Verdenskrig og frem imod år 2020. Hvad der er specielt interessant ved figuren, er, at den årlige udledning af CO_2 kun er faldet i de år, som har været ramt af lavkonjunkturer. Fx ses det første betydningsfulde fald i den årlige udledning af

[7] Fx Nordkorea og andre diktatoriske styrer

CO_2 omkring Den Store Depression, hvor verden var ramt af en økonomisk lavkonjunktur i næsten 10 år. Efterfølgende sker der først et fald i udledningen af CO_2 igen efter 2. Verdenskrig, som også var præget af lavkonjunktur. Det næste betydningsfulde fald i udledningen af CO_2 sker først omkring 1980-83, der var en periode, som var præget af en global lavkonjunktur. Omkring starten af 1990'erne opstod en oliekrise, der havde store implikationer for den amerikanske økonomi, og som resulterede i en lavkonjunktur i store dele af verden. Perioden omkring finanskrisen var også præget af et fald i udledningen af CO_2. I år 2020 ses det største fald i udledning af den årlige CO_2, hvilket var under coronakrisen. Grafen giver derfor et indtryk af, at de eneste perioder, hvor der, siden den industrielle revolution, er sket fald i den årlige udledning af CO_2, har været perioder, hvor de forskellige økonomier i verden har været ramt af en lavkonjunktur, og derigennem har produceret mindre.

Der kan derfor stilles spørgsmålstegn ved, om den mest effektive måde at reducere udledningen af CO_2 på nu og her er ved en frivillig nedgang i produktionen, da data på udledning af CO_2 viser, at de eneste år, hvor den årlige udledning af CO_2 er faldet, er, år hvor produktionen har været reduceret som konsekvens af en lavkonjunktur. Spørgsmålet er derfor imidlertid, om det faktisk er nødvendigt, at de nuværende generationer opgiver noget af den økonomiske vækst, for at de fremtidige generationer kan få det bedre, udtrykt som færre klimatiske skader, som på nuværende tidspunkt er irreversible.

4.4 Det politiske system

Hvorvidt, det er muligt at integrere en fælles klimapolitik for hele verden, kan være til diskussion, da det kræver et bredt politisk samarbejde samt incitament på tværs af alle verdens lande til at leve op til de betingelser, som sådan en klimapolitik vil indebære.

I 2015 blev der ved FN's klimakonvention indgået en global klimaaftale, den såkaldte Parisaftale, som bestræber sig på, at udledningen af drivhusgasser skal reduceres for at undgå skadelige klimaforandringer. Det blev ved denne klimakonvention bestemt, at det skulle forsøges at holde den global temperaturstigning til under 2°C og gerne til maksimalt $1,5$°C, da det vil reducere risiciene og skaderne af klimaforandringerne betydeligt [Den Europæiske Union]. Problematikken ved denne klimaaftale er dog midlertidigt, at landene ikke forpligter sig til at overholde et konkret mål. FN som organisation har ikke et straffende organ, og derfor er klimaaftalen ikke bindende, hverken i forhold til deltagelse, men heller ikke i forhold til at skulle opnå reduktionsmålene, som blev aftalt. FN er ellers den oplagte organisation til at indgå en global klimaaftale igennem, da de fleste lande i verden er del af FN. Men i og med at landende ikke er pålagt at skulle overholde aftalen og derved ikke straffes, hvis de ikke deltager i samarbejdet med reduktion af udledning af CO_2, er der stor risiko for free-riding problemer [FN].

Hvis det europæiske samarbejde betragtes, så vil det her være nemmere at implementere en fælles klimapolitik for landene, da alle lande, som er en del af EU, vil kunne pålægges at skulle leve op til diverse klimakrav. Overholdes disse krav ikke, er det muligt for EU at straffe de lande, som ikke lever op til kravene. Herigennem eksisterer der altså et straffende organ, hvilket ikke er tilfældet for FN. Det har selvfølgelig også noget at sige, at EU har et indre marked, hvilket tillader, at der kan sættes universelle krav til produkter på tværs

af lande, fx, hvor CO_2-venlig produktionen skal være, men også, at de europæiske lande, til en vis grad, ligner hinanden mere, end hvad er tilfældet i FN.

Der er også andre udfordringer forbundet med fastsættelsen af en fælles global klimapolitik, hvor en af disse udfordringer omhandler, hvordan klimaforandringerne rammer forskelligt. Denne problemstilling er todelt og består af intragenerationelle- og intergenerationelle udfordringer.

Intragenerationelle udfordringer opstår, i og med at klimaforandringerne nu og her påvirker lande forskelligt. Nogle lande bemærker tydeligere end andre konsekvenserne af de nuværende klimaforandringer. Hvor det især er lande med allerede i forvejen høje temperaturer, der bliver ramt af klimaforandringerne. Disse lande er typisk udviklingslande, og deres økonomi består af en stor landbrugssektor, som er meget sensitiv overfor ændringer i vejret og temperaturen, som kan skade høsten og derigennem landenes økonomi. Dette er problematisk, da rige lande typisk ikke, på nuværende tidspunkt, mærker klimaforandringerne i samme grad. Derved kan det give de rige lande mindre incitament til at gøre noget ved klimaforandringerne nu og her, selvom det er disse lande, der er hovedaktøren, for at klimaforandringerne er opstået.

Intergenerationelle udfordringer opstår, i og med at klimaforandringerne rammer generationer forskelligt. De nuværende generationer vil ikke blive påvirket af de klimaforandringer, der sker om 100 år, som er opstået, som et resultat af den nuværende generations forbrug. Det kan derved være problematisk at få den nuværende generation til fx at købe mere CO_2-venlige produkter, som typisk vil koste mere, da de nuværende generationer ikke oplever effekten af, at klimaforandringerne undgås i fremtiden.

De to ovennævnte udfordringer kan derfor også spille en central rolle i forhold til udfordringer med at udforme en fælles global klimapolitik. Nogle lande har højere incitament til at mindske klimaforandringerne, end hvad andre har, da disse lande i højere grad mærker konsekvenserne heraf. Derudover, så er målet for politikkerne i de enkelte lande at blive genvalgt ved næste valg, og herved kan det øge sandsynligheden for genvalg at tilgodese de nuværende generationer frem for de fremtidige, da det er de nuværende generationer, der afgiver de nødvendige stemmer.

Konklusion 5

På baggrund af analysen kan det konkluderes, at ud fra det konkrete modelvalg, den simple klima Solow-model, anvendelsen af en diskonteringsrente på $1,4\%$, den anvendte tidshorisont, specialets definition af global bæredygtig økonomisk vækst og simulationens parameter- og begyndelsesværdier, så er det teoretisk muligt at opnå en global bæredygtig økonomisk vækst, forstået som CO_2-neutralitet i år 2050, men det vil kræve en meget stram klimapolitik.

Yderligere kan det konkluderes, at resultaterne i analysen i høj grad afhænger af, hvilken model der anvendes til at undersøge problemstillingen med. I den simple klima Solow-model påvirker klimaforandringerne kun produktionen, men hvis modellen udvides til, at klimaforandringerne fx også påvirker deprecieringsraten på kapital og udviklingen i teknologiniveauet, så vil der fremkomme andre simulationsresultater, hvorved der ville kunne drages andre konklusioner.

Diskonteringsrenten, der anvendes i cost-benefit-analyser af klimapolitikker, kan konkluderes til at være en dominerende beslutningsvariabel for, hvorledes det er muligt at opnå global bæredygtig økonomisk vækst. Hvis diskonteringsrenten fastsættes for højt, så vægtes de fremtidige gevinster lavt, dette er problematisk, da de fleste gevinster ved klimapolitikkerne først forekommer på lang sigt. Jo tættere diskonteringsrenten sættes på nul, desto større er sandsynligheden for, at det er profitabelt at føre en klimapolitik, der resulterer i CO_2-neutralitet i år 2050. Derudover kan det konkluderes, at definitionen af global bæredygtig økonomisk vækst påvirker, hvilke mål der sigtes efter med simulationen, og definitionen er derfor også afgørende for de analytiske resultater. Yderligere påvirker parameter- og begyndelsesværdierne i simulationsmodellen, også hvilke resultater der fremkommer af simulationen, da modellen er følsom overfor ændringer i disse.

I diskussionen diskuteres det, hvorledes det er muligt gennemføre så stram en klimapolitik, som simulationerne lægger op til, der er nødvendig for at opnå global bæredygtig økonomisk vækst i år 2050. På baggrund af denne diskussion kan det konkluderes, at det er urealistisk, at den globale CO_2-udledning skulle kunne reduceres med 9% et enkelt år, specielt når det tages, i betragtning af at reduktion blev estimeret til at være 3,9% i år 2010. Derimod viser udviklingen af den faktiske udledning af CO_2, at de eneste perioder, hvor der har været en betydelig nedgang i udledning, har været i løbet af lavkonjunkturer, hvilket derfor giver en indikation af, at det kan være nødvendigt at opgive noget af den nuværende økonomiske vækst for at reducere udledningen af CO_2.

At opnå global bæredygtig økonomisk vækst vil kræve en fastsættelse af en fælles global klimapolitik, men det kan konkluderes, at der er nogle politiske problemstillinger forbundet med at fastsætte sådan en klimapolitik. For det første findes der ikke på nuværende

tidspunkt en fælles global institution, der kan varetage opgaven med at følge op på, om de enkelte lande i verden vil leve op til sådan en politik. Dernæst kan intra- og intergenerationelle udfordringer stå i vejen for en fælles global klimapolitik.

Litteratur

Concito, **2011**. Concito. *Den samfundsøkonomiske kalkulationsrente – fakta og etik.* Concito, notat, 2011.

Danmarks Statistik, **a**. Danmarks Statistik. *Grønt nationalregnskab.* https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/miljoe-og-energi/groent-nationalregnskab Lokaliseret d.02-03-2022.

Danmarks Statistik, **b**. Danmarks Statistik. *Grønt BNP.* https://www.dst.dk/da/Statistik/dokumentation/groent-nationalregnskab/et-groent-bnp Lokaliseret d.04-03-2022.

Den Europæiske Union. Den Europæiske Union. *Parisaftalen.* https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?uri=CELEX:22016A1019(01) Lokaliseret d.31-03-2022.

Dietz og Stern, **2015**. Simon Dietz og Nicholas Stern. *Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus' Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions.* The Economic Journal, Volume 125, Issue 583, s. 574–620, 2015.

DØRS, **2015**. DØRS. *Økonomi og Miljø.* ISBN: 978-87-89027-80-7, Pdf. De økonomiske Råd, 2015.

Europa Komissionen, **2015**. Europa Komissionen. *Commission Implementing Regulation (EU) 2015/207.* Den Europæiske Unions Tidende, L 38/1, 2015.

Europa Kommissionen, **a**. Europa Kommissionen. *2050 long-term strategy.* https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en Lokaliseret d.19-03-2022.

Europa Kommissionen, **2019a**. Europa Kommissionen. *På vej mod et bæredygtigt Europa i 2030.* ISBN: 978-92-79-98952-0, Pdf. Europa Kommissionen, 2019.

Europa Kommissionen, **b**. Europa Kommissionen. *Meddelelse fra komissionen til Europa-parlamentet.* https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=DE Lokaliseret d.07-04-2022.

Europa Kommissionen, **2019b**. Europa Kommissionen. *Bæredygtig vækst for alle: fremtidsvalg for det sociale Europa - resumé.* s. 1-22, 2019.

Europa-Parlamentet. Europa-Parlamentet. *Hvad er CO2-neutralitet, og hvordan når vi derhen i 2050?* https:

//www.europarl.europa.eu/news/da/headlines/priorities/klimaforandring/20190926STO62270/hvad-er-co2-neutralitet-og-hvordan-nar-vi-derhen-i-2050
Lokaliseret d.19-04-2022.

Finansministeriet, **2018**. Finansministeriet. *Den samfundsøkonomiske diskonteringsrente.* s. 1-19, 2018.

Finansministeriet, **2021**. Finansministeriet. *Dokumentationsnotat – den samfundsøkonomiske diskonteringsrente.* s. 1-19, 2021.

FN. FN. *Member States.* https://www.un.org/en/about-us/member-states
Lokaliseret d.19-05-2022.

FN's klimapanel, **2019**. FN's klimapanel. *Global warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.* v. 1, 2019.

FN's klimapanel. FN's klimapanel. *Integrated Assessment Models (IAMs) and Energy-Environment-Economy (E3) models:.*
https://unfccc.int/topics/mitigation/workstreams/response-measures/integrated-assessment-models-iams-and-energy-environment-economy-e3-models#eq-1
Lokaliseret d.06-05-2022.

Gravgård, **2017**. Ole Gravgård. *Grønt nationalregnskab for Danmark 2014-2015.* ISBN 978-87-501-2249-4, Pdf. Danmarks Statistik, 2017.

Harrison, **2010**. Mark Harrison. *Valuing the Future: the social discount rate in cost-benefit analysis.* ISBN: 978-1-74037-313-5, Pdf. Productivity Commission, Canberra, 2010.

Jespersen, **1998**. Jesper Jespersen. *Miljøøkonomi.* ISBN: 8757467412, Paperback. Djøf Forlag, 1998.

Jespersen, **2019**. Jesper Jespersen. *Jo lavere rente, desto bedre for vore børn og børnebørn!* JAK bladet, nr. 1, s. 26–28, 2019.

Matthews et al., **2009**. H. Damon Matthews, Nathan P. Gillett, Peter A. Stott og Kirsten Zickfeld. *The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions.* Nature, 459, s. 829–832, 2009.

Mellemfolkelig Samvirke. Mellemfolkelig Samvirke. *FN's verdensmål nr. 13.*
https://www.verdensmaalene.dk/maal/13
Lokaliseret d.31-03-2022.

Nordhaus, **2019**. William Nordhaus. *Climate change: The Ultimate Challenge for Economics.* American Economic Review, 109, s. 1991–2014, 2019.

Nordhaus og Sztorc, **2013**. William Nordhaus og Paul Sztorc. *DICE 2013R: Introduction and User's Manual.* Second edition, 2013.

Nordhaus. William D. Nordhaus. *DICE/RICE Models -Scientific and Economic Background on DICE models*. `https://williamnordhaus.com/dicerice-models` Lokaliseret d.25-04-2022.

Nordhaus, **2008**. William D Nordhaus. *A question of balance*. ISBN: 978-03-00137-48-4, Paperback. Yale University Press, 2008.

Ritchie et al., **2020**. Hannah Ritchie, Max Roser og Pablo Rosado. *CO_2 and Greenhouse Gas Emissions*. Our World in Data, 2020.

Romer, **2019**. David. Romer. *Advanced macroeconomics, 5th edition*. ISBN: 9781260185218, Paperback. McGraw-Hill Education, 2019.

Sørensen, **2020**. Peter Birch Sørensen. *Nobelprisen i økonomi 2018: Økonomisk vækst og klimaforandringer*. Samfundsøkonomen, 2. udgave, s. 124–135, 2020.

The World Bank, **2012**. The World Bank. *New Report Examines Risks of 4 Degree Hotter World by End of Century*. `https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2012/11/18/new-report-examines-risks-of-degree-hotter-world-by-end-of-century` Lokaliseret d.08-03-2022, 2012.

Thomas og Chindarka, **2019**. Vinod Thomas og Namrata Chindarka. *Economic Evaluation of Sustainable Development*. ISBN: 978-981-13-6389-4, Pdf. Palgrave Macmillan, 2019.

Tsigaris og Wood, **2016**. Panagiotis Tsigaris og Joel Wood. *A simple climate-Solow model for introducing the economics of climate change*. International Review of Economics Education, 23, s. 65–81, 2016.

UNFCC, 2011. UNFCC, 2011. *Framework Convention on Climate Change*. `http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=2` Lokaliseret d.09-03-2022.

United States Environmental Protection Agency, **2012**. United States Environmental Protection Agency. *Dynamic Integrated Climate Economy model (DICE)*. `https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=OAP&dirEntryId=240426` Lokaliseret d.09-03-2022, 2012.

Bilag 6

6.1 Simulation af den simple klima Solow-model i redegørelsen

I forbindelse med simulationen af den simple klima Solow-model, er der taget udgangspunkt i modellen opbygget af [Tsigaris og Wood, 2016]. Denne model er blevet replikeret i excel. Parameterværdierne er ligeledes anvendt fra kilden, som har fundet parameterværdierne på baggrund af empiriske analyser, og har anvendt inspiration fra Nordhaus' DICE-model. Parameterværdierne er derfor anvendt, for at kunne foretage simulationerne, der fremvises i afsnittet med en simple model for klima og økonomisk vækst.

Parameterværdierne der anvendes i modellen fremgår i tabel 6.1.

Forklaring	Symbol	Værdi
Kapitals andel af indkomsten	α	0,3
Opsparingsraten	s	0,25
Deprecieringsraten	δ_0	0,1
Verdens population i 2010 (i milliarder)	L_0	6,838
Verdens befolkningstilvækst i 2010	$g_{L,0}$	0,024
Parameter der påvirker befolkningstilvæksten	δ_L	0,052
Total faktor produktiviteten i 2010	A_0	3,955
Væksten i total faktor produktiviteten i 2010	$g_{A,0}$	0,015
Parameter der påvirker væksten i produktiviteten	δ_A	0,011
Verdens BNP i 2010 i billioner (i 2005 priser)	Y_0	63,69
Kapital i verden i 2010 i billioner (i 2005 priser)	K_0	135
Emissionsintensiteten i 2010	σ_0	0,549
Væksten i emissionsintensiteten i 2010	$g_{\sigma,0}$	-0,01
Parameter der påvirker væksten i emissionsintensiteten	δ_σ	-0,0002
Skadesparameter 1	θ_1	0,002384
Skadesparameter 2	θ_2	2
Effekten af kulstofsudledning pr. milliarder tons på temperaturen	β	0,0018
Summen af udledte kulstoffer i 2010 (i milliarder af tons)		530

Tabel 6.1. Anvendte parameterværdier i simulationen
Kilde: [Tsigaris og Wood, 2016]

Resultaterne af simulationen fremvises nedenstående. Kun de første 10 perioder og de sidste 10 fremvises, pga. omfanget af den fulde simulationer, som består af 200 perioder, og derfor ikke vil passe på en side.

Year	g_L,t	L_t	g_sigma,t	sigma_t	y_t-1	CO_2/L_t	E_t	Kulstoffer
	$G_{L,t} = \frac{g_{L,0}}{(1+\delta_L)^t}$	$L_t = L_{t-1} * (1 + G_{L,t})$	$G_{\sigma,t} = \frac{G_{\sigma,t-1}}{1+\delta_\sigma}$	$\sigma_t = \sigma_{t-1}(1 + g_{\sigma,t})$		$y_{t-1} * \sigma_t$	$(y_{t-1} * \sigma_t) * L_t$ Tons CO_2	$\frac{(y_{t-1} * \sigma_t) * L_t}{3,67}$ 3,67: konverteringsfaktor
2010	0,023	6,838	-0,010	0,549	9,31	5,113	34,966	9,527
2011	0,022	6,988	-0,010	0,544	9,63	5,235	36,582	9,968
2012	0,021	7,133	-0,010	0,538	9,88	5,314	37,901	10,327
2013	0,020	7,274	-0,010	0,533	10,12	5,391	39,212	10,685
2014	0,019	7,410	-0,010	0,527	10,37	5,467	40,514	11,039
2015	0,018	7,542	-0,010	0,522	10,62	5,543	41,806	11,391
2016	0,017	7,670	-0,010	0,517	10,87	5,617	43,084	11,740
2017	0,016	7,794	-0,010	0,512	11,12	5,690	44,349	12,084
2018	0,015	7,914	-0,010	0,507	11,38	5,762	45,599	12,425
2019	0,015	8,029	-0,010	0,501	11,63	5,833	46,833	12,761
2191	0,000	10,615	-0,010	0,086	48,35	4,162	44,184	12,039
2192	0,000	10,615	-0,010	0,085	48,45	4,128	43,816	11,939
2193	0,000	10,615	-0,010	0,084	48,55	4,093	43,449	11,839
2194	0,000	10,615	-0,010	0,083	48,65	4,059	43,084	11,740
2195	0,000	10,615	-0,010	0,083	48,74	4,024	42,721	11,641
2196	0,000	10,615	-0,010	0,082	48,84	3,990	42,360	11,542
2197	0,000	10,615	-0,010	0,081	48,93	3,957	42,001	11,444
2198	0,000	10,616	-0,010	0,080	49,02	3,923	41,644	11,347
2199	0,000	10,616	-0,010	0,079	49,12	3,889	41,288	11,250
2200	0,000	10,616	-0,010	0,078	49,21	3,856	40,935	11,154

Figur 6.1. Simulation del 1 (BAU). Den fulde simulation kan ses i vedhæftet excel-fil (Model til redegørelse) ved aflevering af specialet.
Kilde: Egne simulationer

Year	Kulstoffer+SUM(Kulstof)	T_t	G_a,t	A_t	Delta_k	D_t
		$T_t = \beta\left[C_0 + \sum_{i=1}^{t} E_i\right]$	$G_{A,t} = \frac{G_{A,0}}{(1+\delta_A)^t}$	$A_{t-1} * (1 + G_{A,t})$		$D_t = \frac{1}{1+\theta_1 T_t^{\theta_2}}$
2010	530,000	0,954	0,015	3,955	0,100	0,998
2011	539,527	0,971	0,015	4,014	0,100	0,998
2012	549,495	0,989	0,015	4,073	0,100	0,998
2013	559,822	1,008	0,015	4,132	0,100	0,998
2014	570,507	1,027	0,014	4,191	0,100	0,997
2015	581,546	1,047	0,014	4,251	0,100	0,997
2016	592,938	1,067	0,014	4,310	0,100	0,997
2017	604,677	1,088	0,014	4,370	0,100	0,997
2018	616,762	1,110	0,014	4,430	0,100	0,997
2019	629,186	1,133	0,014	4,490	0,100	0,997
2191	3764,743	6,777	0,002	12,748	0,100	0,901
2192	3776,783	6,798	0,002	12,775	0,100	0,901
2193	3788,722	6,820	0,002	12,800	0,100	0,900
2194	3800,561	6,841	0,002	12,826	0,100	0,900
2195	3812,300	6,862	0,002	12,852	0,100	0,899
2196	3823,941	6,883	0,002	12,877	0,100	0,899
2197	3835,483	6,904	0,002	12,902	0,100	0,898
2198	3846,928	6,924	0,002	12,926	0,100	0,897
2199	3858,275	6,945	0,002	12,951	0,100	0,897
2200	3869,525	6,965	0,002	12,975	0,100	0,896

Figur 6.2. Simulation del 2 (BAU). Den fulde simulation kan ses i vedhæftet excel-fil (Model til redegørelse) ved aflevering af specialet.
Kilde: Egne simulationer

Year	k_t	y_t	k_t(no dmg)	y_t(no dmg)
	$K_{ss,t} = \left[\frac{sA_tD_t}{\delta_K + g_{L,t}}\right]^{(\frac{1}{1-\alpha})}$	$y_t = D_tA_tK_{ss,t}^{\alpha}$	$K_{ss,t} = \left[\frac{sA_t}{\delta_k + G_{L,t}}\right]^{(\frac{1}{1-\alpha})}$	$y_t = A_tK_{ss,t}^{\alpha}$
2010	19,578	9,632	19,639	9,662
2011	20,259	9,875	20,324	9,907
2012	20,948	10,120	21,017	10,154
2013	21,643	10,368	21,718	10,403
2014	22,345	10,617	22,426	10,655
2015	23,054	10,868	23,140	10,908
2016	23,768	11,120	23,860	11,164
2017	24,488	11,375	24,587	11,421
2018	25,213	11,632	25,319	11,680
2019	25,943	11,890	26,056	11,942
2191	121,127	48,452	140,506	56,204
2192	121,372	48,550	140,918	56,368
2193	121,615	48,647	141,326	56,532
2194	121,854	48,743	141,731	56,694
2195	122,091	48,838	142,133	56,854
2196	122,326	48,931	142,531	57,014
2197	122,558	49,024	142,926	57,172
2198	122,787	49,115	143,318	57,328
2199	123,013	49,206	143,707	57,484
2200	123,237	49,296	144,093	57,638

Figur 6.3. Simulation del 3 (BAU). Den fulde simulation kan ses i vedhæftet excel-fil (Model til redegørelse) ved aflevering af specialet.
Kilde: Egne simulationer

Udvikling i output pr. arbejder ved forskellige D_t-værdier

Udvikling i output pr. arbejder ved forskellige værdier af D_t:

År	D_t(1)	D_t(0,90)	D_t(0,80)	D_t(0,70)
2010	9.662	8.312	7.025	5.805
2020	12.205	10.499	8.873	7.332
2030	14.923	12.837	10.849	8.965
2040	17.770	15.287	12.919	10.676
2050	20.705	17.812	15.053	12.439
2060	23.692	20.382	17.225	14.234
2070	26.697	22.967	19.410	16.039
2080	29.688	25.540	21.585	17.836
2090	32.637	28.076	23.728	19.607
2100	35.517	30.554	25.822	21.337
2110	38.307	32.954	27.850	23.014
2120	40.989	35.262	29.801	24.625
2130	43.551	37.465	31.663	26.164
2140	45.981	39.556	33.430	27.624
2150	48.274	41.528	35.097	29.002
2160	50.426	43.380	36.661	30.295
2170	52.436	45.109	38.123	31.502
2180	54.305	46.717	39.482	32.625
2190	56.038	48.207	40.742	33.666
2200	57.638	49.584	41.905	34.627

Figur 6.4. Simulation af udviklingen i output pr. arbejder ved forskellige værdier for D_t i BAU-modellen i redegørelsen. Den fulde simulation kan ses i vedhæftet excel-fil (Model til redegørelse) ved aflevering af specialet.
Kilde: Egne simulationer

6.2 Simulation af effekten af en klimapolitik i den simple klima Solow-model

Year	g_L,t	L_t	g_sigma,t	sigma_t	y_t-1	CO_2/L_t	E_t	E_k,t
	$G_{L,t} = \frac{g_{L,0}}{(1+\delta_L)^t}$	$L_t = L_{t-1} * (1+G_{L,t})$	$G_{\sigma,t} = \frac{G_{\sigma,t-1}}{1+\delta_\sigma}$	$\sigma_t = \sigma_{t-1}(1+g_{\sigma,t})$		$y_{t-1} * \sigma_t$	$(y_{t-1} * \sigma_t) * L_t$ Tons CO_2	$\frac{(y_{t-1} * \sigma_t) * L_t}{3,67}$ 3,67: konverteringsfaktor $E_{k,t} = (1-M_t)\sigma_t Y_t$
2010	0,023	6,838	-0,010	0,549	9,31	5,113	31,819	8,670
2020	0,014	8,140	-0,010	0,496	11,89	5,903	41,487	11,304
2030	0,008	9,045	-0,010	0,449	14,56	6,534	46,829	12,760
2040	0,005	9,639	-0,010	0,406	17,34	7,034	46,425	12,650
2050	0,003	10,016	-0,010	0,367	20,19	7,403	38,650	10,531
2060	0,002	10,250	-0,010	0,331	23,10	7,651	21,404	5,832
2070	0,001	10,394	-0,010	0,299	26,04	7,794	0,000	0,000
2080	0,001	10,482	-0,010	0,270	29,00	7,837	0,000	0,000
2090	0,000	10,535	-0,010	0,244	31,91	7,788	0,000	0,000
2100	0,000	10,567	-0,010	0,220	34,76	7,659	0,000	0,000
2110	0,000	10,586	-0,010	0,199	37,52	7,463	0,000	0,000
2120	0,000	10,598	-0,010	0,179	40,18	7,212	0,000	0,000
2130	0,000	10,605	-0,010	0,162	42,72	6,918	0,000	0,000
2140	0,000	10,609	-0,010	0,146	45,13	6,593	0,000	0,000
2150	0,000	10,612	-0,010	0,132	47,40	6,246	0,000	0,000
2160	0,000	10,614	-0,010	0,119	49,54	5,885	0,000	0,000
2170	0,000	10,614	-0,010	0,107	51,54	5,520	0,000	0,000
2180	0,000	10,615	-0,010	0,097	53,40	5,154	0,000	0,000
2190	0,000	10,615	-0,010	0,087	55,12	4,794	0,000	0,000
2200	0,000	10,616	-0,010	0,078	56,71	4,444	0,000	0,000

Figur 6.5. Simulation del 1 (Klimapolitik). Den fulde simulation kan ses i vedhæftet excel-fil af simulationen ved aflevering af specialet.
Kilde: Egne simulationer.

Year	CO_2+SUM(E_i)	T_t	G_a,t	A_t	Delta_k	D_t	k_t	y_t
		$T_i = \beta\left[C_0 + \sum_{i=1}^{t} E_i\right]$	$G_{A,t} = \frac{G_{A,0}}{(1+\delta_A)^t}$	$A_{t-1} * (1+G_{A,t})$		$D_t = \frac{1}{1+\theta_1 T_t^{\theta_2}}$	$K_{ss,t} = \left[\frac{sA_t D_t}{\delta_K + g_{L,t}}\right]^{\left(\frac{1}{1-\alpha}\right)}$	$y_t = D_t A_t K_{ss,t}^{\alpha}$
2010	530,000	0,954	0,015	3,955	0,100	0,998	19,578	9,632
2020	629,572	1,133	0,013	4,551	0,100	0,997	26,682	12,151
2030	750,283	1,351	0,012	5,161	0,100	0,996	34,220	14,830
2040	878,852	1,582	0,011	5,778	0,100	0,994	41,940	17,619
2050	997,679	1,796	0,010	6,394	0,100	0,992	49,695	20,480
2060	1084,273	1,952	0,009	7,002	0,100	0,991	57,424	23,388
2070	1110,364	1,999	0,008	7,596	0,100	0,991	65,130	26,338
2080	1110,364	1,999	0,007	8,171	0,100	0,991	72,741	29,289
2090	1110,364	1,999	0,006	8,724	0,100	0,991	80,174	32,198
2100	1110,364	1,999	0,006	9,252	0,100	0,991	87,387	35,039
2110	1110,364	1,999	0,005	9,752	0,100	0,991	94,342	37,792
2120	1110,364	1,999	0,005	10,224	0,100	0,991	101,007	40,438
2130	1110,364	1,999	0,004	10,666	0,100	0,991	107,357	42,965
2140	1110,364	1,999	0,004	11,078	0,100	0,991	113,371	45,363
2150	1110,364	1,999	0,003	11,462	0,100	0,991	119,039	47,625
2160	1110,364	1,999	0,003	11,817	0,100	0,991	124,355	49,748
2170	1110,364	1,999	0,003	12,144	0,100	0,991	129,318	51,731
2180	1110,364	1,999	0,002	12,446	0,100	0,991	133,932	53,575
2190	1110,364	1,999	0,002	12,722	0,100	0,991	138,207	55,284
2200	1110,364	1,999	0,002	12,975	0,100	0,991	142,155	56,863

Figur 6.6. Simulation del 2 (Klimapolitik). Den fulde simulation kan ses i vedhæftet excel-fil (Model til redegørelse) ved aflevering af specialet.
Kilde: Egne simulationer.

Year	m_t	negative g_a	omega	AC_t	cy_t
	$M_t = M_{t-1}(1+m)$		$\Omega_t = \Omega_{t-1}(1+g_{a,t})$	$AC_t = \Omega_t M_t^2$	$cy_t = (1-AC_t)D_t A_t k_t$
2010	0,090	-0,015	0,060	0,000	9,628
2020	0,137	-0,013	0,052	0,001	12,140
2030	0,208	-0,012	0,046	0,002	14,801
2040	0,315	-0,011	0,041	0,004	17,548
2050	0,479	-0,010	0,037	0,008	20,307
2060	0,727	-0,009	0,034	0,018	22,972
2070	1,000	-0,008	0,031	0,031	25,522
2080	1,000	-0,007	0,029	0,029	28,445
2090	1,000	-0,006	0,027	0,027	31,329
2100	1,000	-0,006	0,025	0,025	34,148
2110	1,000	-0,005	0,024	0,024	36,880
2120	1,000	-0,005	0,023	0,023	39,508
2130	1,000	-0,004	0,022	0,022	42,018
2140	1,000	-0,004	0,021	0,021	44,400
2150	1,000	-0,003	0,021	0,021	46,648
2160	1,000	-0,003	0,020	0,020	48,758
2170	1,000	-0,003	0,019	0,019	50,730
2180	1,000	-0,002	0,019	0,019	52,564
2190	1,000	-0,002	0,018	0,018	54,263
2200	1,000	-0,002	0,018	0,018	55,833

Figur 6.7. Simulation del 3 (Klimapolitik). Den fulde simulation kan ses i vedhæftet excel-fil (Model til redegørelse) ved aflevering af specialet.
Kilde: Egne simulationer.

6.2.1 Simulation af cost-benefit-analyse i den simple klima Solow-model

year	Business as usual (by_t)	Klimapolitik (py_t)	Benefits (py_t-by_t)	Costs (py_t-cy_t)	Nettofordele	diskonteringsrate (5%)	diskonteringsrate (1,4%)
2010	9.632	9.632	0,0	-4,7	-4,7	-4,5	-4,6
2011	9.875	9.875	0,1	-5,1	-5,0	-4,6	-4,9
2012	10.120	10.121	0,2	-5,6	-5,4	-4,7	-5,2
2013	10.368	10.368	0,4	-6,2	-5,8	-4,8	-5,5
2014	10.617	10.617	0,5	-6,8	-6,3	-4,9	-5,9
2015	10.868	10.868	0,7	-7,5	-6,8	-5,0	-6,2
2016	11.120	11.121	0,9	-8,2	-7,3	-5,2	-6,6
2017	11.375	11.376	1,2	-9,0	-7,8	-5,3	-7,0
2018	11.632	11.633	1,4	-9,8	-8,4	-5,4	-7,4
2019	11.890	11.891	1,7	-10,8	-9,0	-5,5	-7,9
2020	12.149	12.151	2,1	-11,8	-9,7	-5,7	-8,3
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
2100	33.661	35.039	1.378	-890,9	486,8	5,7	137,4
2101	33.896	35.318	1.423	-893,0	529,8	6,0	147,4
2102	34.128	35.597	1.469	-895,1	573,6	6,1	157,4
2103	34.360	35.875	1.515	-897,2	618,0	6,3	167,3
2104	34.589	36.152	1.562	-899,3	663,0	6,4	177,0
2105	34.817	36.427	1.610	-901,3	708,8	6,6	186,6
2106	35.044	36.702	1.659	-903,4	755,2	6,6	196,0
2107	35.269	36.976	1.708	-905,4	802,2	6,7	205,4
2108	35.492	37.249	1.757	-907,4	849,9	6,8	214,6
2109	35.713	37.521	1.808	-909,3	898,2	6,8	223,7
2110	35.933	37.792	1.858	-911,3	947,1	6,9	232,6
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
2190	48.353	55.284	6.931	-1.021	5.910,5	0,9	477,3
2191	48.452	55.448	6.996	-1.022	5.974,1	0,8	475,7
2192	48.550	55.610	7.060	-1.023	6.037,6	0,8	474,2
2193	48.647	55.771	7.124	-1.024	6.100,8	0,8	472,5
2194	48.743	55.931	7.188	-1.025	6.163,9	0,7	470,8
2195	48.838	56.090	7.252	-1.025	6.226,7	0,7	469,0
2196	48.931	56.247	7.316	-1.026	6.289,3	0,7	467,2
2197	49.024	56.403	7.379	-1.027	6.351,7	0,7	465,3
2198	49.115	56.557	7.442	-1.028	6.413,9	0,6	463,4
2199	49.206	56.711	7.505	-1.029	6.475,9	0,6	461,4
2200	49.296	56.863	7.567	-1.030	6.537,6	0,6	459,4
Summeret	-	-	-	-	-	**-488$**	**36.671$**

Figur 6.8. Simulation af cost-benefit-analyse. Den fulde simulation kan ses i vedhæftet excel-fil (Model til redegørelse) ved aflevering af specialet.
Kilde: Egne simulationer pba. [Tsigaris og Wood, 2016]

6.3 Simulationer i analysen

Dette afsnit i bilaget indeholder simulationsresultaterne af de forskellige simulationer i analysen.

6.3.1 Simulation af business-as-usual (BAU) i analysen

År	T_t	CO_2 i mia. tons	y_t i \$
2010	0,95	35,0	9.632
2020	1,16	48,0	12.149
2030	1,42	59,1	14.821
2040	1,73	67,7	17.591
2050	2,07	73,9	20.406
2060	2,44	77,9	23.218
2070	2,83	80,0	25.985
2080	3,23	80,5	28.667
2090	3,62	79,7	31.234
2100	4,01	77,8	33.661
2110	4,38	75,2	35.933
2120	4,74	72,0	38.040
2130	5,09	68,3	39.978

Tabel 6.2. Simulation af business-as-usual (BAU) i analysen i perioden fra 2010-2130. Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen).

6.3.2 Simulation af Klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050

År	T_t	CO_2 i mia. tons	cy_t i \$
2010	0,95	31,8	9.628
2020	1,13	40,2	12.134
2030	1,33	41,4	14.771
2040	1,52	30,6	17.414
2050	1,61	0,0	19.766
2060	1,61	0,0	22.694
2070	1,61	0,0	25.642
2080	1,61	0,0	28.580
2090	1,61	0,0	31.477
2100	1,61	0,0	34.309
2110	1,61	0,0	37.055
2120	1,61	0,0	39.695
2130	1,61	0,0	42.217

Tabel 6.3. Simulation af klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050 i analysen i perioden fra 2010-2130. Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen).

6.3.3 Cost-benefit-analyse af Klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050

year	Business as usual (by_t)	Klimapolitik (py_t)	Benefits (py_t-by_t)	Costs (py_t-cy_t)	Nettofordele	diskonteringsrate (3,5%	diskonteringsrate (1,4%)
2010	9.632	9.632	0,0	-4,7	-4,7	-4,5	-4,6
2011	9.875	9.875	0,1	-5,3	-5,2	-4,9	-5,1
2012	10.120	10.121	0,2	-6,1	-5,9	-5,3	-5,6
2013	10.368	10.368	0,4	-6,9	-6,6	-5,7	-6,2
2014	10.617	10.617	0,5	-7,9	-7,3	-6,2	-6,9
2015	10.868	10.868	0,7	-9,0	-8,2	-6,7	-7,6
2016	11.120	11.121	1,0	-10,2	-9,2	-7,3	-8,4
2017	11.375	11.376	1,2	-11,6	-10,4	-7,9	-9,3
2018	11.632	11.633	1,5	-13,2	-11,7	-8,6	-10,3
2019	11.890	11.891	1,9	-15,0	-13,1	-9,3	-11,4
2020	12.149	12.152	2,3	-17,1	-14,8	-10,1	-12,7
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
2050	20.406	20.523	117	-757,2	-639,9	-156,2	-361,9
2051	20.688	20.818	130	-760,7	-631,1	-148,8	-352,0
2052	20.970	21.113	142	-764,2	-621,8	-141,6	-342,0
2053	21.252	21.408	156	-767,6	-611,8	-134,7	-331,9
2054	21.534	21.704	170	-771,0	-601,3	-127,9	-321,6
2055	21.815	22.000	184	-774,3	-590,1	-121,2	-311,3
2056	22.097	22.296	199	-777,6	-578,3	-114,8	-300,9
2057	22.378	22.593	215	-780,9	-565,9	-108,5	-290,3
2058	22.658	22.890	231	-784,2	-552,8	-102,4	-279,7
2059	22.939	23.187	248	-787,4	-539,0	-96,5	-269,0
2060	23.218	23.484	266	-790,6	-524,6	-90,8	-258,2
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
2120	38.040	40.629	2.590	-934	1.655,2	36,3	353,7
2121	38.241	40.889	2.648	-936	1.711,6	36,3	360,7
2122	38.441	41.147	2.706	-938	1.768,4	36,3	367,5
2123	38.639	41.404	2.765	-940	1.825,7	36,2	374,2
2124	38.835	41.660	2.825	-941	1.883,4	36,0	380,7
2125	39.030	41.915	2.885	-943	1.941,7	35,9	387,1
2126	39.223	42.168	2.945	-945	2.000,4	35,7	393,2
2127	39.414	42.420	3.006	-946	2.059,5	35,5	399,3
2128	39.603	42.671	3.067	-948	2.119,0	35,3	405,1
2129	39.791	42.920	3.129	-950	2.178,9	35,1	410,9
2130	39.978	43.168	3.191	-951	2.239,3	34,9	416,4
Summeret	-	-	-	-	-	**-2.427$**	**1.898$**

Figur 6.9. Cost-benefit-analyse af simulationen med klimapolitik CO_2-neutralitet i 2050
Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen).

6.3.4 Tidshorisontens betydning for cost-benefit-analysens resultater

year	Business as usual (by_t)	Klimapolitik (py_t)	Benefits (py_t-by_t)	Costs (py_t-cy_t)	Nettofordele	diskonteringsrate (1,4%)
2010	9.632	9.632	0,0	-4,7	-4,7	-4,6
2011	9.875	9.875	0,1	-5,3	-5,2	-5,1
2012	10.120	10.121	0,2	-6,1	-5,9	-5,6
2013	10.368	10.368	0,4	-6,9	-6,6	-6,2
2014	10.617	10.617	0,5	-7,9	-7,3	-6,9
2015	10.868	10.868	0,7	-9,0	-8,2	-7,6
2016	11.120	11.121	1,0	-10,2	-9,2	-8,4
2017	11.375	11.376	1,2	-11,6	-10,4	-9,3
2018	11.632	11.633	1,5	-13,2	-11,7	-10,3
2019	11.890	11.891	1,9	-15,0	-13,1	-11,4
2020	12.149	12.152	2,3	-17,1	-14,8	-12,7
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
2050	20.406	20.523	117	-757,2	-639,9	-361,9
2051	20.688	20.818	130	-760,7	-631,1	-352,0
2052	20.970	21.113	142	-764,2	-621,8	-342,0
2053	21.252	21.408	156	-767,6	-611,8	-331,9
2054	21.534	21.704	170	-771,0	-601,3	-321,6
2055	21.815	22.000	184	-774,3	-590,1	-311,3
2056	22.097	22.296	199	-777,6	-578,3	-300,9
2057	22.378	22.593	215	-780,9	-565,9	-290,3
2058	22.658	22.890	231	-784,2	-552,8	-279,7
2059	22.939	23.187	248	-787,4	-539,0	-269,0
2060	23.218	23.484	266	-790,6	-524,6	-258,2
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
2100	33.661	35.204	1.543	-895	648,2	182,9
2101	33.896	35.485	1.590	-897	692,5	192,7
2102	34.128	35.765	1.637	-899	737,5	202,4
2103	34.360	36.044	1.685	-901	783,3	212,0
2104	34.589	36.322	1.733	-904	829,6	221,5
2105	34.817	36.600	1.782	-906	876,7	230,8
2106	35.044	36.876	1.832	-908	924,3	240,0
2107	35.269	37.151	1.882	-910	972,7	249,0
2108	35.492	37.425	1.933	-912	1.021,6	258,0
2109	35.713	37.698	1.985	-914	1.071,2	266,7
2110	35.933	37.970	2.037	-916	1.121,4	275,4
Summeret	-	-	-	-	-	**-5.193$**

Figur 6.10. Betydning af tidshorisonten i forhold til cost-benefit-analysen. En kortere tidshorisont ved en diskonteringsrente på $1,4\%$.
Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen - Tidshorisont).

year	Business as usual (by_t)	Klimapolitik (py_t)	Benefits (py_t-by_t)	Costs (py_t-cy_t)	Nettofordele	diskonteringsrate (3,5%)
2010	9.632	9.632	0,0	-4,7	-4,7	-4,5
2011	9.875	9.875	0,1	-5,3	-5,2	-4,9
2012	10.120	10.121	0,2	-6,1	-5,9	-5,3
2013	10.368	10.368	0,4	-6,9	-6,6	-5,7
2014	10.617	10.617	0,5	-7,9	-7,3	-6,2
2015	10.868	10.868	0,7	-9,0	-8,2	-6,7
2016	11.120	11.121	1,0	-10,2	-9,2	-7,3
2017	11.375	11.376	1,2	-11,6	-10,4	-7,9
2018	11.632	11.633	1,5	-13,2	-11,7	-8,6
2019	11.890	11.891	1,9	-15,0	-13,1	-9,3
2020	12.149	12.152	2,3	-17,1	-14,8	-10,1
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
2150	43.357	47.850	4.493	-981,1	3.512,0	27,5
2151	43.509	48.069	4.560	-982,5	3.578,0	27,0
2152	43.660	48.288	4.628	-983,8	3.644,2	26,6
2153	43.809	48.505	4.696	-985,1	3.710,5	26,2
2154	43.957	48.720	4.763	-986,4	3.776,9	25,8
2155	44.103	48.934	4.831	-987,7	3.843,4	25,3
2156	44.247	49.146	4.899	-989,0	3.910,0	24,9
2157	44.391	49.358	4.967	-990,3	3.976,8	24,5
2158	44.532	49.567	5.035	-991,5	4.043,6	24,0
2159	44.673	49.776	5.103	-992,7	4.110,4	23,6
2160	44.811	49.983	5.171	-994,0	4.177,3	23,2
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
2268	53.499	64.921	11.421	-1.075	10.346,5	1,4
2269	53.540	65.002	11.463	-1.075	10.387,5	1,4
2270	53.580	65.083	11.504	-1.076	10.428,2	1,3
2271	53.619	65.164	11.544	-1.076	10.468,5	1,3
2272	53.658	65.243	11.585	-1.076	10.508,6	1,2
2273	53.697	65.322	11.625	-1.077	10.548,3	1,2
2274	53.735	65.400	11.665	-1.077	10.587,7	1,2
2275	53.773	65.477	11.704	-1.078	10.626,8	1,1
2276	53.810	65.553	11.743	-1.078	10.665,6	1,1
2277	53.847	65.629	11.782	-1.078	10.704,1	1,1
2278	53.883	65.704	11.821	-1.079	10.742,2	1,0
Summeret	-	-	-	-	-	**-625$**

Figur 6.11. Betydning af tidshorisonten i forhold til cost-benefit-analysen. En længere tidshorisont ved en diskonteringsrente på $3,5\%$.
Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen - Tidshorisont).

6.3.5 Simulation af udskudt klimapolitik i analysen

År	T_t	CO_2 i mia. tons	cy_t i $
2010	0,95	35,0	9.632
2020	1,16	48,0	12.149
2030	1,40	50,5	14.809
2040	1,64	41,9	17.504
2050	1,77	0,0	19.730
2060	1,77	0,0	22.652
2070	1,77	0,0	25.596
2080	1,77	0,0	28.528
2090	1,77	0,0	31.420
2100	1,77	0,0	34.247
2110	1,77	0,0	36.987
2120	1,77	0,0	39.623
2130	1,77	0,0	42.140

Tabel 6.4. Simulation af udskudt klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050 i analysen i perioden fra 2010-2130.

Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen - Udskudt klimapolitik).

6.3.6 Cost-benefit-analyse af udskudt Klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050

year	Business as usual (by_t)	Klimapolitik (py_t)	Benefits (py_t-by_t)	Costs (py_t-cy_t)	Nettofordele	diskonteringsrate (3,5%	diskonteringsrate (1,4%)
2025	13.470	13.470	0,0	-5,3	-5,3	-3,1	-4,3
2026	13.738	13.738	0,3	-6,5	-6,2	-3,5	-4,9
2027	14.007	14.008	0,6	-7,9	-7,3	-3,9	-5,7
2028	14.277	14.278	1,1	-9,7	-8,6	-4,5	-6,6
2029	14.549	14.550	1,6	-11,8	-10,3	-5,2	-7,8
2030	14.821	14.823	2,1	-14,4	-12,3	-6,0	-9,2
2031	15.095	15.098	2,8	-17,6	-14,7	-6,9	-10,9
2032	15.369	15.373	3,7	-21,5	-17,8	-8,1	-12,9
2033	15.644	15.649	4,6	-26,2	-21,5	-9,4	-15,4
2034	15.920	15.926	5,8	-31,9	-26,1	-11,1	-18,5
2035	16.197	16.204	7,1	-38,9	-31,8	-13,0	-22,2
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
2060	23.218	23.442	223	-789,1	-565,9	-97,9	-278,5
2061	23.498	23.739	241	-792,3	-551,4	-92,2	-267,6
2062	23.777	24.036	259	-795,4	-536,2	-86,6	-256,6
2063	24.055	24.333	278	-798,4	-520,2	-81,2	-245,6
2064	24.333	24.631	298	-801,5	-503,6	-75,9	-234,4
2065	24.610	24.928	318	-804,5	-486,3	-70,8	-223,3
2066	24.886	25.225	339	-807,5	-468,3	-65,9	-212,0
2067	25.162	25.523	361	-810,4	-449,6	-61,1	-200,7
2068	25.437	25.820	383	-813,4	-430,1	-56,5	-189,4
2069	25.711	26.117	406	-816,2	-410,0	-52,0	-178,0
2070	25.985	26.415	430	-819,1	-389,1	-47,7	-166,6
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
2120	38.040	40.555	2.516	-933	1.583,0	34,8	338,3
2121	38.241	40.814	2.573	-934	1.638,8	34,8	345,4
2122	38.441	41.072	2.631	-936	1.695,2	34,8	352,3
2123	38.639	41.329	2.690	-938	1.752,0	34,7	359,1
2124	38.835	41.584	2.749	-940	1.809,3	34,6	365,7
2125	39.030	41.838	2.808	-941	1.867,1	34,5	372,2
2126	39.223	42.091	2.868	-943	1.925,3	34,4	378,5
2127	39.414	42.343	2.929	-945	1.984,0	34,2	384,6
2128	39.603	42.593	2.989	-946	2.043,1	34,1	390,6
2129	39.791	42.842	3.051	-948	2.102,6	33,9	396,5
2130	39.978	43.090	3.112	-950	2.162,5	33,7	402,1
Summeret	-	-	-	-	-	**-2.070$**	**1.593$**

Figur 6.12. Cost-benefit-analyse af simulationen med den udskudte klimapolitik: CO_2-neutralitet i 2050
Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen - Udskudt klimapolitik).

6.3.7 Optimal klimapolitik ved $3,5\%$ diskonteringsrente

År	T_t	CO_2 i mia. tons	cy_t i \$
2010	0,95	29,4	9.618
2020	1,12	39,6	12.133
2030	1,34	47,8	14.808
2040	1,58	53,6	17.588
2050	1,85	57,1	20.425
2060	2,14	58,7	23.279
2070	2,43	58,5	26.110
2080	2,71	56,9	28.886
2090	2,98	54,3	31.579
2100	3,24	50,8	34.170
2110	3,48	46,8	36.640
2120	3,70	42,3	38.982
2130	3,90	37,6	41.189

Tabel 6.5. Simulation af Optimal klimapolitik ved $3,5\%$ diskonteringsrente i analysen i perioden fra 2010-2130.

Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen - Optimal klimapolitik).

6.3.8 Optimal klimapolitik ved $1,4\%$ diskonteringsrente

År	T_t	CO_2 i mia. tons	cy_t i \$
2010	0,95	19,6	9.521
2020	1,07	26,9	12.035
2030	1,21	33,1	14.716
2040	1,39	38,0	17.514
2050	1,58	41,6	20.383
2060	1,79	44,0	23.283
2070	2,01	45,4	26.176
2080	2,24	45,9	29.028
2090	2,46	45,6	31.809
2100	2,68	44,9	34.494
2110	2,90	43,6	37.062
2120	3,11	42,0	39.499
2130	3,31	40,2	41.795

Tabel 6.6. Simulation af Optimal klimapolitik ved $1,4\%$ diskonteringsrente i analysen i perioden fra 2010-2130.

Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen - Optimal klimapolitik).

6.3.9 Cost-benefit analyse af optimal klimapolitik ved $3,5\%$ diskonteringsrente

year	Business as usual (by_t)	Klimapolitik (py_t)	Benefits (py_t-by_t)	Costs (py_t-cy_t)	Nettofordele	diskonteringsrate (3,5%
2010	9.632	9.632	0,0	-14,8	-14,8	-14,3
2011	9.875	9.876	0,2	-15,2	-15,0	-14,0
2012	10.120	10.121	0,4	-15,6	-15,3	-13,8
2013	10.368	10.368	0,6	-16,1	-15,5	-13,5
2014	10.617	10.617	0,9	-16,5	-15,6	-13,2
2015	10.868	10.869	1,2	-17,0	-15,8	-12,9
2016	11.120	11.122	1,5	-17,4	-15,9	-12,5
2017	11.375	11.377	1,8	-17,9	-16,1	-12,2
2018	11.632	11.634	2,2	-18,4	-16,1	-11,8
2019	11.890	11.892	2,7	-18,9	-16,2	-11,5
2020	12.149	12.152	3,2	-19,4	-16,2	-11,1
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
2050	20.406	20.465	59	-39,6	19,4	4,7
2051	20.688	20.751	63	-40,5	22,6	5,3
2052	20.970	21.037	67	-41,4	26,0	5,9
2053	21.252	21.324	72	-42,3	29,5	6,5
2054	21.534	21.610	77	-43,2	33,3	7,1
2055	21.815	21.897	81	-44,2	37,3	7,7
2056	22.097	22.183	87	-45,2	41,5	8,2
2057	22.378	22.470	92	-46,2	45,9	8,8
2058	22.658	22.756	98	-47,2	50,5	9,4
2059	22.939	23.042	104	-48,2	55,3	9,9
2060	23.218	23.328	110	-49,2	60,4	10,5
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
2120	38.040	39.148	1.108	-165	942,4	20,7
2121	38.241	39.378	1.136	-169	967,8	20,5
2122	38.441	39.606	1.165	-172	993,5	20,4
2123	38.639	39.834	1.195	-175	1.019,6	20,2
2124	38.835	40.060	1.225	-179	1.046,0	20,0
2125	39.030	40.285	1.255	-182	1.072,7	19,8
2126	39.223	40.508	1.286	-186	1.099,8	19,6
2127	39.414	40.730	1.316	-189	1.127,1	19,5
2128	39.603	40.951	1.348	-193	1.154,8	19,3
2129	39.791	41.171	1.380	-197	1.182,8	19,1
2130	39.978	41.389	1.412	-201	1.211,1	18,9
Summeret	-	-	-	-	-	**1.197$**

Figur 6.13. Cost-benefit analyse af optimal klimapolitik ved $3,5\%$ diskonteringsrente. Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen - Optimal klimapolitik).

6.3.10 Cost-benefit analyse af optimal klimapolitik ved $1,4\%$ diskonteringsrente

year	Business as usual (by_t)	Klimapolitik (py_t)	Benefits (py_t-by_t)	Costs (py_t-cy_t)	Nettofordele	diskonteringsrate (1,4%)
2010	9.632	9.632	0,0	-111,9	-111,9	-110,3
2011	9.875	9.876	0,5	-113,0	-112,5	-109,4
2012	10.120	10.121	1,0	-114,1	-113,1	-108,5
2013	10.368	10.369	1,7	-115,2	-113,6	-107,4
2014	10.617	10.619	2,3	-116,3	-114,0	-106,3
2015	10.868	10.871	3,1	-117,4	-114,3	-105,1
2016	11.120	11.124	3,9	-118,4	-114,5	-103,9
2017	11.375	11.380	4,8	-119,5	-114,6	-102,6
2018	11.632	11.637	5,8	-120,5	-114,6	-101,2
2019	11.890	11.897	6,9	-121,5	-114,6	-99,7
2020	12.149	12.157	8,1	-122,5	-114,4	-98,1
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
2050	20.406	20.530	124	-146,6	-22,6	-12,8
2051	20.688	20.820	132	-147,3	-15,5	-8,6
2052	20.970	21.110	140	-147,9	-8,0	-4,4
2053	21.252	21.400	148	-148,6	-0,2	-0,1
2054	21.534	21.691	157	-149,2	8,0	4,3
2055	21.815	21.982	166	-149,8	16,5	8,7
2056	22.097	22.272	176	-150,4	25,4	13,2
2057	22.378	22.563	186	-151,0	34,6	17,8
2058	22.658	22.854	196	-151,6	44,3	22,4
2059	22.939	23.145	206	-152,2	54,3	27,1
2060	23.218	23.436	217	-152,7	64,7	31,8
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
2120	38.040	39.676	1.636	-177	1.459,7	311,9
2121	38.241	39.912	1.671	-177	1.494,4	314,9
2122	38.441	40.147	1.706	-177	1.529,3	317,8
2123	38.639	40.381	1.742	-177	1.564,5	320,7
2124	38.835	40.613	1.778	-178	1.599,9	323,4
2125	39.030	40.843	1.814	-178	1.635,6	326,0
2126	39.223	41.072	1.850	-178	1.671,5	328,6
2127	39.414	41.300	1.886	-178	1.707,7	331,1
2128	39.603	41.526	1.923	-179	1.744,0	333,5
2129	39.791	41.751	1.959	-179	1.780,6	335,8
2130	39.978	41.974	1.996	-179	1.817,4	338,0
Summeret	-	-	-	-	-	**11.438$**

Figur 6.14. Cost-benefit analyse af optimal klimapolitik ved $1,4\%$ diskonteringsrente. Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen - Optimal klimapolitik).

6.4 Simulation i diskussionen

6.4.1 Simulation af BAU: Hvor emissionsintensiteten og væksten heri fastsættes efter DICE-modellen i 2016

År	T_t	CO_2 i mia. tons	cy_t i \$
2010	0,95	22,3	9.632
2020	1,08	29,1	12.156
2030	1,23	34,1	14.846
2040	1,41	37,2	17.650
2050	1,59	38,7	20.527
2060	1,79	38,9	23.438
2070	1,97	38,1	26.347
2080	2,16	36,6	29.224
2090	2,33	34,6	32.041
2100	2,50	32,3	34.775
2110	2,65	29,9	37.408
2120	2,79	27,4	39.925
2130	2,92	24,9	42.316

Tabel 6.7. Simulation af BAU: Hvor emissionsintensiteten og væksten heri fastsættes efter DICE-modellen i 2016 i diskussionen i perioden fra 2010-2130.

Kilde: Egen simulation. Se vedhæftet excel-fil (Simulation i analysen - Emissionsintensitet).

Appendiks 7

7.1 Ligningssystemet i den simple klima Solow-model

Ligningssystemet, der ligger bag opsætningen af simulationen af den simple klima Solow-model, som anvendes i analysen, præsenteres i det følgende, hvor business-as-usual modellen først præsenteres, og i forlængelse af dette, bygger modellen med klimapolitik videre på modellen.

7.1.1 Den simple klima Solow-model: Business-as-usual

Økonomisk vækst
Output pr. arbejder til tiden t:

$$y_t = D_t A_t k_{ss,t}^{\alpha} \tag{7.1}$$

Skadefunktionen
Skadefunktionens, D_t, størrelse til tiden t:

$$D_t = \frac{1}{1 + \theta_1 T_t^{\theta_2}} \leq 1 \tag{7.2}$$

Ændring i den gennemsnitlig verdenstemperatur, T, til tiden t:

$$T_t = \beta \left[C_0 + \sum_{i=1}^{t} E_i \right] \tag{7.3}$$

Udledning af kulstoffer, E, til tiden t:

$$E_t = \frac{(y_{t-1} * \sigma_t) * L_t}{3,67} \tag{7.4}$$

Udledning af CO_2, til tiden t:

$$CO_{2,t} = (y_{t-1} * \sigma_t) * L_t$$

Arbejdsstyrkens størrelse, L, til tiden t:

$$L_t = L_{t-1} * (1 + G_{L,t}) \tag{7.5}$$

Vækstraten i arbejdsstyrken, L, til tiden t:

$$g_{L,t} = \frac{g_{L,t-1}}{(1 + \delta_L)^t} \qquad \delta_L > 0 \tag{7.6}$$

Emissionsintensiteten, σ, til tiden t:

$$\sigma = \sigma_{t-1} * (1 + g_{\sigma,t}) \tag{7.7}$$

Vækstraten i emissionsintensiteten, $g_{\sigma,t}$, til tiden t:

$$g_{\sigma,t} = \frac{g_{\sigma,t-1}}{(1+\delta_\sigma)^t} \qquad \delta_A < 0 \tag{7.8}$$

Teknologiniveauet
Teknologiniveauet til tiden t:

$$A_t = A_{t-1} * (1 + G_{A,t}) \tag{7.9}$$

Vækstraten i teknologiniveauet til tiden t:

$$g_{A,t} = \frac{g_{A,t-1}}{(1+\delta_A)^t} \qquad \delta_A > 0 \tag{7.10}$$

Kapital
Steady state for kapital arbejdskraftratioen, $k_{ss,t}$ til tiden t:

$$K_{ss,t} = \left[\frac{sA_tD_t}{\delta_K + g_{L,t}}\right]^{(\frac{1}{1-\alpha})} \tag{7.11}$$

7.1.2 Den simple klima Solow-model: Med klimapolitik

Da de to modeller overlapper hinanden i forholdvis stor grad, markeres tilføjelserne med farven rød, således at det er nemmere for læseren at identificere, hvordan de to modeller adskiller sig fra hinanden.

Økonomisk vækst
Output pr. arbejder til tiden t:

$$y_t = D_tA_tk_{ss,t}^{\alpha} \tag{7.12}$$

Skadefunktionen
Skadefunktionens, D_t, størrelse til tiden t:

$$D_t = \frac{1}{1+\theta_1T_t^{\theta_2}} \leq 1 \tag{7.13}$$

Ændring i den gennemsnitlig verdenstemperatur, T, til tiden t:

$$T_t = \beta\left[C_0 + \sum_{i=1}^{t} E_i\right] \tag{7.14}$$

Udledning af kulstoffer, E, til tiden t:

$$E_t = (1 - M_t)\frac{(y_{t-1} * \sigma_t) * L_t}{3,67} \tag{7.15}$$

Udledning af CO_2, til tiden t:

$$CO_{2,t} = (1 - M_t)(y_{t-1} * \sigma_t) * L_t$$

Den CO_2-reducerenderate (Det klimapolitiske instrument), M, til tiden t:

$$M_t = M_{t-1}(1 + m) \tag{7.16}$$

Arbejdsstyrkens størrelse, L, til tiden t:

$$L_t = L_{t-1} * (1 + G_{L,t}) \tag{7.17}$$

Vækstraten i arbejdsstyrken, L, til tiden t:

$$g_{L,t} = \frac{g_{L,t-1}}{(1 + \delta_L)^t} \qquad \delta_L > 0 \tag{7.18}$$

Emissionsintensiteten, σ, til tiden t:

$$\sigma = \sigma_{t-1} * (1 + g_{\sigma,t}) \tag{7.19}$$

Vækstraten i emissionsintensiteten, $g_{\sigma,t}$, til tiden t:

$$g_{\sigma,t} = \frac{g_{\sigma,t-1}}{(1 + \delta_\sigma)^t} \qquad \delta_A < 0 \tag{7.20}$$

Teknologiniveauet

Teknologiniveauet til tiden t:

$$A_t = A_{t-1} * (1 + G_{A,t}) \tag{7.21}$$

Vækstraten i teknologiniveauet til tiden t:

$$g_{A,t} = \frac{g_{A,t-1}}{(1 + \delta_A)^t} \qquad \delta_A > 0 \tag{7.22}$$

Kapital

Steady state for kapital arbejdskraftratioen, $k_{ss,t}$ til tiden t:

$$K_{ss,t} = \left[\frac{sA_tD_t}{\delta_K + g_{L,t}}\right]^{(\frac{1}{1-\alpha})} \tag{7.23}$$

Klimapolitikken

Output pr. arbejder til tiden t, fratrukket omkostningerne ved den CO_2-reducerenderate:

$$cy_t = (1 - AC_t)D_tA_tk_{ss,t}^{\alpha} \tag{7.24}$$

Reduktionsomkostningsfunktionen (omkostningerne ved M_t), AC, til tiden t:

$$AC_t = \Omega M_t^2 \tag{7.25}$$

Reduceringen, Ω, i omkostningerne ved reduktionsomkostningsfunktionen til tiden t:

$$\Omega = \Omega_{t-1}(1 - g_{a,t}) \tag{7.26}$$