

Klimaforandringer vil efter alt at dømme medføre omkostninger, navnlig på længere sigt. Men hvad er omfanget af omkostningerne? Hvor ligger balancen mellem omkostninger som følge af klimaforandringer og omkostninger til at bekæmpe dem? Hvad bør det koste at udlede drivhusgasser? Dette notat forsøger at svare på disse spørgsmål ved at præsentere hovedresultater fra den videnskabelige litteratur indenfor klimaøkonomi.

- **Parisaftalen opererer med en politisk målsætning om at begrænse den globale temperaturstigning til "et godt stykke under 2 °C" i år 2100 og "stræbe efter at begrænse stigningen til 1½°C". FN og IEA vurderer dog, at temperaturen vil stige med 1,7 - 3,1 °C med hidtil besluttede og annoncerede nationale tiltag**
- **Den klimaøkonomiske litteratur, baseret på den tilgængelige viden, peger på, at den optimale, globale temperaturstigning ud fra et klimaøkonomisk cost-benefit perspektiv er mellem 1,9 - 2,6 °C i år 2100**
Det skyldes, at estimaterne så vidt muligt tager højde for både gevinsterne ved at reducere udledninger samt omkostningen ved at gennemføre reduktioner. Parisaftalens mål ligger under det optimale niveau, mens prognoserne for den faktiske temperaturstigning ikke ligger langt fra det optimale.
- **Der er stor usikkerhed forbundet med opgørelser af skadevirkninger ved klimaforandringer**
Skadevirkningerne ved en temperaturstigning på 3 °C opgøres af et metastudie at svare til 3,1 pct. af globalt output (BNP) i år 2100. Et andet metastudie estimerer et tilsvarende estimat til mellem 7 og 10 pct. af globalt output (BNP). Til sammenligning vil BNP per capita være dobbelt så høj i år 2100 ved en lav årlig vækstrate på 1 pct., selv inklusive klimaskader.
- **Nyere klimaøkonomisk litteratur peger på, at den globale skadeomkostning svarer til 450 til 1.100 kr. per ton CO₂e, hvilket taler for en CO₂e-pris på dette niveau.**
Prisen på at udlede CO₂e i det nuværende kvotesystem (ETS I) i EU er omkring 500 kr./ton. I det nye kvotesystem (ETS II) estimeres prisen i 2027 at være omkring 200 kr./ton. Den faktiske CO₂e-pris i Danmark er dog markant højere pga. egenrådig dansk klimapolitik og dobbeltregulering i EU.
- **Notatet understreger vigtigheden af en omkostningseffektiv klimapolitik**
Bærer klimapolitikken præg af dobbeltregulering, som det er tilfældet i dag, vil omkostningerne til den grønne omstilling øges betydeligt uden reelt at have en klimateffekt.
- **Der kan ikke kompenseres for nogle regioners manglende klimapolitik (f.eks. Kina) med større reduktioner i andre (f.eks. EU).**
Det vil være ekstremt dyrt eller ligefrem umuligt at kompensere for andre landes manglende klimapolitik. Derfor er det væsentligt at arbejde for global deltagelse i reduktion af drivhusgasser.

Indhold

Indhold.....	2
Omkostninger ved klimaforandringer og prisen på grøn omstilling	3
Klimaøkonomi.....	4
Skadevirkninger ved global opvarmning.....	5
Howard og Sterner (2017)	5
Nordhaus og Moffat (2017)	8
Hvad er forskellen på de to metastudier?	9
Social cost of carbon	10
Estimer for social cost of carbon er steget over tid	11
Barrage og Nordhaus (2024).....	12
Scenarier i Barrage og Nordhaus (2024)	13
Forskellige prognoser for temperaturudvikling.....	16
Hvordan påvirkes velstandsniveauet af klimaforandringer?	19
Diskussion	20
Diskonteringsrenten.....	20
Vippepunkter og katastrofale hændelser	22
Antagelser bag resultaterne	24
Begrænsninger i modellerne	26
Klimaskader rammer ulige i verden	29
Konklusion	31
Litteratur	33

Omkostninger ved klimaforandringer og prisen på grøn omstilling

I samfundsdebatten er der relativt stor enighed om, at klimaforandringer er et alvorligt problem, der skal håndteres politisk. Derfor er det bemærkelsesværdigt, hvor lidt fokus der er på de samlede omkostninger forbundet med klimaforandringer og omkostninger forbundet med at begrænse dem. Formålet med dette notat er at skabe et overblik over den videnskabelige litteratur indenfor klimaøkonomi. Notatet er ikke tiltænkt som en udtømmende gennemgang af litteraturen, men derimod at give et overblik over resultater og usikkerheder.

For at forstå udfordringen med klimapolitik er det væsentligt at forstå omfanget af omkostninger forbundet med klimaforandringer. Når der udledes drivhusgasser, stiger temperaturen globalt. Det medfører vejrændringer, som medfører samfundsøkonomiske omkostninger. Da skader forbundet med udledning af drivhusgasser er globale, bærer man ikke selv hele omkostningen forbundet med udledninger. Der er altså tale om negative eksternaliteter forbundet med udledning af drivhusgasser - såkaldte eksterne skadevirkninger. Stort set hele skadevirkningen er ekstern og endda global.

Eksterne skadevirkninger løses effektivt med en CO₂e-pris, ofte benævnt som en Pigouskat¹. Med sådan en pris internaliseres den manglende eksterne omkostning og produktion finder kun sted, hvis gevinsterne overstiger de samlede omkostninger. Det skyldes, at en producent vil reducere sine drivhusgasudledninger, hvis det kan gøres billigere end prisen på at udlede CO₂e. Alternativt vil producenten reducere produktionsmængden til, hvad der bedst kan svare sig. Med en CO₂e-pris sikres de billigst mulige reduktioner, fordi reduktionerne ikke bliver dyrere end CO₂e-prisen.

Det virker måske ikke umiddelbart oplagt at gøre klimaudfordringerne op i økonomiske omkostninger. For klimaproblemerne er i særdeleshed af naturvidenskabelig karakter. Hvilken indflydelse øget koncentration af drivhusgasser i atmosfæren har på temperaturen og hvilken effekt højere temperaturer har på f.eks. permafrosten, indlandsisen eller Amazonas er naturvidenskabelige spørgsmål. For at få et samlet overblik over konsekvenserne kan man opgøre værdien af effekterne ved klimaforandring. På den måde kan klimaudfordringen kvantificeres. Til det har økonomer udviklet *Integrated Assessment Models* (IAM'er). Med disse modeller kan værdien af skadevirkninger ved klimaforandringer beregnes og deraf beregne det bedste (og billigste) politiske svar.

Der er stor enighed blandt økonomer, at drivhusgasudledninger bør prissættes. Hvad den optimale pris på drivhusgasudledninger i praksis ligger på, er der langt større usikkerhed forbundet med. I dette notat præsenteres klimaøkonomiske modeller og nogle af de væsentligste resultater fra den klimaøkonomiske videnskab, herunder de samlede estimerede skadevirkninger ved klimaforandringer samt bud på den cost-benefit optimale pris på drivhusgasudledninger. I modellerne er der som med alle andre fremskrivninger naturligt usikkerhed forbundet med antagelserne bag og dermed resultaterne. Inden for den klimaøkonomiske litteratur er der også uenighed om, hvilke antagelser der bedst beskriver konsekvenser ved klimaforandringerne og hvordan de bør prissættes. Særligt er der markante diskussioner om, hvordan fremtidige generationers velfærd bør værdisættes. Dette indgår i den valgte diskonteringsrente, der anvendes i modellerne. Dette og andre usikkerheder forbundet med området diskuteres derfor i notatet.

¹ Efter den britiske økonom Pigou (1920).

I notatet præsenteres først den grundlæggende model indenfor klimaøkonomi. Herefter introduceres en række resultater fra studier, der anvender modellen. Dernæst diskuteres nogle af de hyppigste diskussioner indenfor litteraturen. Slutteligt samles op med en konklusion.

Klimaøkonomi

Forskningen, der kobler klima og økonomi sammen, har rødder i Robert Solows vækstmodel². William D. Nordhaus, som i øvrigt har modtaget Nobelprisen for sit banebrydende arbejde inden for klimaøkonomi, udvidede den til såkaldte *Integrated Assessment Models* (IAMs). Disse modeller muliggør analyse af det langsigtede samspil mellem klimaet og samfundet. På den måde kan økonomien og klimaforandringer analyseres ud fra et cost-benefit perspektiv.

Den grundlæggende idé med disse økonomiske modeller er at opfange, hvordan menneskelig velfærd påvirkes af klimaforandringer, der er forårsaget af drivhusgasudledninger. For at gøre dette er det nødvendigt at integrere naturvidenskabelig viden i en langsigtet økonomisk vækstmodel. Modellerne følger en grundlæggende logik: drivhusgasudledninger fører til højere koncentration af drivhusgasser i atmosfæren, som medfører global opvarmning, hvilket resulterer i økonomiske skader (Nobel Prize Outreach AB, 2018). Skadeomkostningerne omfatter blandt andet tabt produktion samt forringelse af miljø og sundhed som følge af global opvarmning. Det er væsentlig at understrege, at økonomiske skader dækker over mere end de markedsmæssige konsekvenser – de dækker også så vidt muligt de skader, der opstår uden for markedet, som f.eks. værdien af forringet sundhed eller værdien af tab af økosystemer (Nordhaus og Moffat, 2017).

IAM'er muliggør beregning af gevinsten ved at reducere CO₂e-udledninger. Gevinsten svarer til de skadeomkostninger, som undgås.

Der findes en række IAM'er, herunder *Dynamic Integrated Climate-Economy* (DICE), *The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution* (FUND) og *Policy Analysis of Greenhouse Effect* (PAGE) m.fl. DICE-modellen er den hyppigst anvendte IAM i litteraturen. IAM'er kan opdeles i to klasser: politikoptimerings- og politikevalueringsmodeller. DICE er primært designet til politikoptimering, men kan også anvendes som evalueringsmodel for en given politik (Barrage og Nordhaus, 2024).

Modellerne er – som alle modeller - selvklaart simplificeringer af virkeligheden. Men simplificeringer er nødvendige for at muliggøre, at modellerne kan løses og bruges til at beregne optimale og alternative scenarier. Det er formentlig også årsagen til, at FN's klimapanel (IPCC) anvender IAM'er i deres rapporter.

Social cost of carbon (SCC) er et grundlæggende koncept, der beregnes med IAM'er. SCC betegner den diskonterede værdi af en ændring i forbrug forårsaget af udledning af et ekstra ton CO₂e. For en økonomi uden andre markedsfejl vil SCC svare til Pigouskatten som beskrevet ovenfor. Det vil sige, at skatten internaliserer eksternaliteten. Dermed bringes økonomien til Pareto-optimum, hvor ingen kan stilles bedre uden at en anden bliver dårligere stillet. SCC kan derfor betragtes som den optimale pris på drivhusgasudledninger. Eftersom der er andre markedsfejl i økonomien, er det svært at tolke

² Solows model beskriver langsigtet vækst i en økonomi. Væksten påvirkes af kapital, arbejdskraft og produktivitet.

SCC som den eksakte, optimale pris på drivhusgasudledninger. Men det gør ikke SCC irrelevant, eftersom den stadig kan bruges til at informere om den nødvendige intensitet i klimapolitikken (Tol, 2023). Problemstillingen er i øvrigt helt generel og ikke kun begrænset til klimaøkonomi.

Det følgende afsnit beskriver resultaterne fra en række studier, der anvender IAM'er til at koble det langsigtede samspil mellem klimaet og samfundet sammen.

Skadevirkninger ved global opvarmning

Der bør sjældent drages generelle konklusioner ud fra enkelte studier, og særligt ikke på et område, der er forbundet med så stor usikkerhed, som det er tilfældet på klimaområdet. Derfor præsenteres der i dette notat primært metastudier, da denne type studier er en oplagt måde at sammenfatte en lang række enkeltstudier. Ifølge Hassler m.fl. (2024) er der to nyere metastudier tilgængelige, der præsenterer sammenhængen mellem skadevirkninger og temperaturstigninger. Disse er af Howard og Sterner (2017) samt af Nordhaus og Moffat (2017)³. Et fællestræk ved studierne er, at de baserer sig på IAM'er.

Howard og Sterner (2017)

Howard og Sterner (2017) estimerer sammenhængen mellem temperaturstigninger og klimaskader i litteraturen. I deres gennemgang identificeres en række angivelige statistiske skævheder i metalitteraturen, herunder duplikationsbias og udeladt variabel bias. Howard og Sterner (2017) forsøger i deres estimation af sammenhængen mellem temperaturstigninger og klimaskader at korrigere for disse statistiske skævheder. Først identificeres 49 skadesestimater fra 41 studier. Herfra fjernes de studier, der ikke møder forfatterens kriterier. Der inkluderes kun studier, der undersøger global betalingsvillighed for at undgå de samlede konsekvenser af klimaforandringer, målt som andel af globalt output⁴. Derudover fjernes påståede dubletter, det vil f.eks. sige studier, der ikke er det nyeste estimat af en forfatter, der anvender en given metode. Det efterlader 26 estimater fra 20 studier, der anvendes til at estimere sammenhængen mellem temperaturstigninger og klimaskader.

Modeller i Howard og Sterner (2017)

Howard og Sterner (2017) præsenterer tre forskellige modeller til at beskrive sammenhængen mellem temperaturstigninger og klimaskader ved at opdele potentielle skader i forskellige kategorier.

Foretrukken model for ikke-katastrofale skader (Preferred model for non-catastrophic damages)

I modellen for ikke-katastrofale skader antager Howard og Sterner (2017), at skadesfunktionen er kvadratisk, hvilket indebærer, at med stigende temperaturer forøges skaderne forholdsmæssigt

³ Nordhaus og Moffat (2017) kalder dog selv deres studie for Non-Systematic Research Summary, da de stiller strenge krav til definitionen af et metastudie. I dette notat omtales studiet dog som et metastudie jf. Hassler m.fl. (2024).

⁴ Howard og Sterner (2017) skriver (globalt) BNP. Nordhaus og Moffat (2017) bemærker, at resultater relateret til skadevirkninger som følge af klimaforandringer ofte beskrives som "effekt på globalt BNP". Dette er dog misvisende, da begrebet for skader adskiller sig fra et standard BNP-mål. Det skyldes, at de fleste skadesestimater også omfatter ikke-markedsmæssig produktion (f.eks. sundhedsskader eller skader på økosystemer) og at nogle outputestimater bruger forbrugsækvivalenter af nytteværdi som outputestimat. I dette notat henvises der derfor til skader målt som andel af globalt output.

mere. Antagelsen er baseret på historiske fortilfælde, hvor klimaskader er steget med en stigende hastighed i takt med temperaturstigninger, samt for at bevare frihedsgrader i analysen.

Foretrukken model for samlede (ikke-katastrofale plus katastrofale) skader (Preferred model for total (non-catastrophic plus catastrophic) damages)

Blandt skadesestimaterne i de 20 studier skelner Howard og Sterner (2017) mellem, om estimaterne tager højde for katastrofale klimaskader.

Howard og Sterner (2017) antager at alle klimavidenskabelige skadesestimater dækker over katastrofale skader. Hvordan disse estimater er opgjort, fremgår ikke tydeligt. Forfatterne beskriver, at de følger Nordhaus (1994), som interviewede en række forskere om deres skøn for omfanget af økonomiske skader som følge af klimaforandringer. Howard og Sterner (2017) beskriver, at klimavidenskabelige skønnede skadesestimater dækker over estimater, der inddrager fysiske tærskler, såsom grænserne for menneskets tilpasningsevne til varmemstress eller den anbefalede 2 °C-grænse for global opvarmning. Disse tærskler, som er anbefalet af mange forskere og internationale organisationer, bruges til at beregne globale skadesestimater fra klimaforandringer. Metoden dækker potentielt over markeds-, ikke-markeds- og vippepunkts⁵-effekter. Disse skadesestimater spænder fra 4,9 til 99% af globalt output for temperaturstigninger på 3 til 12 °C.

Foretrukken model for samlede skader plus produktivitet (Preferred model for total damages plus productivity)

Derudover skelner Howard og Sterner (2017) mellem, om estimaterne tager højde for produktivitetseffekter. I denne specifikation tager forfatterne derfor højde for både ikke-katastrofale og katastrofale skadesestimater samt produktivitetseffekter. Det gør de, da nogle studier indikerer, at klimaændringer kan have indflydelse på produktiviteten og dermed den økonomiske vækst.

Howard og Sterner (2017) antager, at estimater baseret på paneldata opfanger produktivitetseffekter af klimaforandringer på globalt output (BNP). Dell m.fl. (2012) er sådan et studie. Her estimeres sammenhængen mellem produktivitet og skader ved klimaændringer ved at studere årlig variation i vejret. Der er dog en række problemer ved at anvende paneldata (top-down tilgang⁶). F.eks. antages det, at effekten af vejr og klima er identiske. Da vejr er kortsigtet og klima er langsigtet, vil det med den metode være svært at tage højde for tilpasningseffekter. Hvis en oversvømmelse ikke forventes at være tilbagevendende, fordi der er tale om et kortsigtet udsving i vejret, vil man formentlig ikke opføre diger for at undgå dem – i modsætning til, hvis der er forventning om tilbagevendende oversvømmelser (klima). Derfor risikerer sådanne metoder at overvurdere skadesomkostningerne ved stigende temperaturer.

Howard og Sterner (2017) peger da selv på, at der i litteraturen er diskussioner om klimaforandringer indflydelse på produktivitet og den økonomiske vækst, hvorfor de anbefaler at der foretages følsomhedsanalyse over for inddragelsen af produktivitetseffekter.

⁵ Også kendt som 'tipping points'

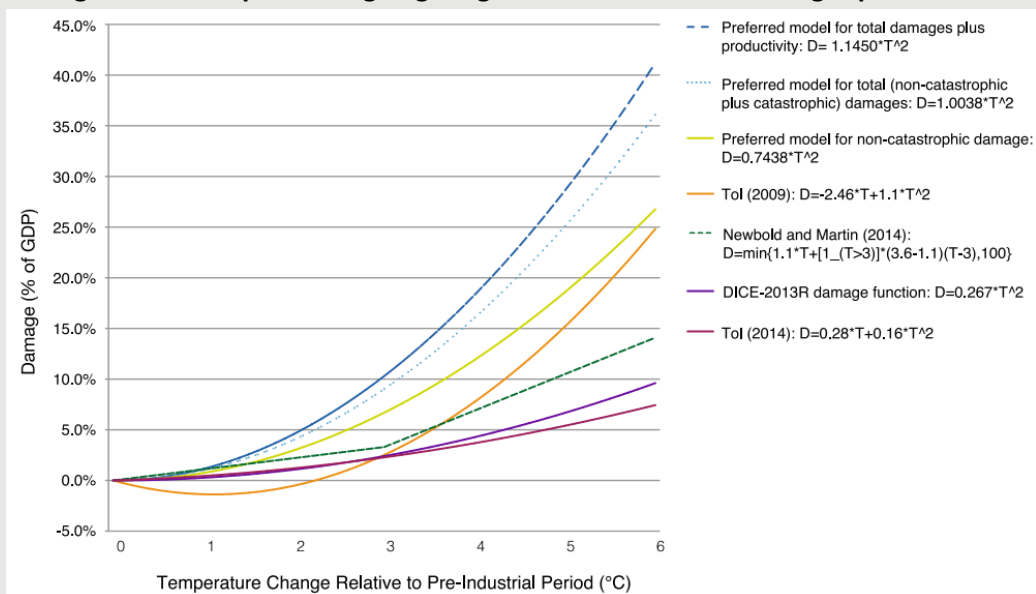
⁶ Disse er nærmere uddybet i afsnittet Begrænsninger i modellerne

Resultater i Howard og Sterner (2017)

Af figur 1 fremgår resultaterne fra Howard og Sterner (2017)s tre modeller, der forsøger at estimere sammenhængen mellem temperaturstigninger og klimaskader. Ligeledes præsenteres fire øvrige skadesfunktioner fra tidligere studier.

Figur 1

Sammenhæng mellem temperaturstigninger og klimaskader med forskellige specifikationer



Note: De tre øverste regressioner er fra Howard og Sterner (2017). De fire nederste regressioner er fra tidligere studier. Howard og Sterner (2017) ganger koefficienterne for ikke-katastrofale virkninger med 1,25, når de konstruerer skadesfunktionerne for at tage højde for potentielt udeladte ikke-katastrofale klimapåvirkninger jf. DICE-2013R. Kilde: Figur 1 i Howard og Sterner (2017)

Howard og Sterner (2017) finder med deres foretrukne regression for ikke-katastrofale skadevirkninger, at en temperaturstigning på 3 °C⁷ vil medføre skadevirkninger svarende til mellem 7 og 8% af globalt output. Det står i kontrast til de tilsvarende resultater for ikke-katastrofale skader i DICE-2013R, der estimerer skadevirkninger svarende til 2,4% af globalt output ved en temperaturstigning på 3 °C. Når der tages højde for katastrofale risici, finder Howard og Sterner (2017), at en temperaturstigning på 3 °C vil medføre skadevirkninger svarende til mellem 9 og 10% af globalt output. Når forfatterne også tager højde for produktivitetseffekter, vurderes skadevirkningerne større.

Forfatterne finder ligeledes, at resultatet er følsomt overfor, hvordan meget spekulative og usikre estimater af skadevirkninger ved meget høje temperaturstigninger (over 4 °C) behandles, da disse har indflydelse på den estimerede relation mellem skader og temperaturer. Inkluderer estimater for høje temperaturer, estimeres ikke-katastrofale skadevirkninger i stedet til mellem 4 og 8% ved en temperaturstigning på 3 °C. Intervallet for samlede skader estimeres til mellem 7 og 11%, når estimater ved meget høje temperaturstigninger inkluderes.

⁷ Relativt til den førindustrielle periode

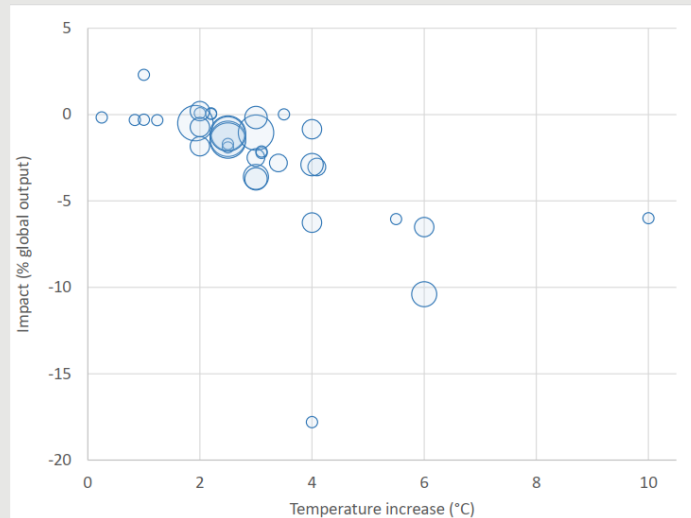
I metastudiet af Howard og Sterner (2017) estimeres væsentligt større skadevirkninger på tværs af forskellige specifikationer end i de tidligere studier, som de sammenligner deres resultater med.

Nordhaus og Moffat (2017)

Nordhaus og Moffat (2017) præsenterer en gennemgang af studier, der estimerer globale økonomiske konsekvenser af klimaforandringer. Forfatterne estimerer derefter sammenhængen mellem temperatur og globale skadevirkninger baseret på 36 estimater fra 27 studier. Figur 2 er et overblik over estimaterne.

Figur 2

Studier der undersøger sammenhæng mellem skadevirkning og temperaturstigning



Note: Figuren illustrer de 36 anvendte estimater. Størrelsen på hver cirkel repræsenterer dets vægt i den statistiske analyse af de samlede skadevirkninger.

Kilde: Figur 1 i Nordhaus og Moffat (2017)

Ligesom Howard og Sterner (2017) tager Nordhaus og Moffat (2017) højde for, at estimaterne ikke er uafhængige. Derfor har Nordhaus og Moffat (2017) lavet en tilpasning i den statistiske analyse ved at vægte hvert studie. Den nyeste version af et estimat, som anvender uafhængige metoder, og som ifølge forfatterne er passende til at estimere skader, vægtes med 1. Ældre versioner af estimater (f.eks. fra tidligere versioner af DICE), studier der primært afhænger af andre studier, samt studier, der anvender metoder, som forfatterne betragter som upræcise, vægtes med mindre end 1. Af eksempler på det sidstnævnte fremhæver forfatterne studier, der relaterer indkomster til "lykke" og vejr, som de mener kun giver sparsom information om de langsigtede konsekvenser af klimaforandringer. Forfatterne konkluderer dog, at vægtningen ikke har stor indflydelse på resultaterne.

Som i Nordhaus og Sztorc (2013) tilføjer Nordhaus og Moffat (2017) 25% til de prissatte skader for at afspejle ikke-prissatte skader. I Nordhaus og Sztorc (2013) er disse ikke-prissatte skader beskrevet som flere vigtige faktorer (som den økonomiske værdi af tab fra biodiversitet, havforsuring og politiske reaktioner), ekstreme begivenheder (som stigning i havniveauet, ændringer i havcirkulationen og accelererede klimaændringer), effekter der i sigens natur er vanskelige at

modellere (katastrofale begivenheder og meget langsigtet opvarmning) og usikkerhed på stort set alle komponenter fra økonomisk vækst til skader.

Som det fremgår af figur 2, estimerer de fleste studier, at en temperaturstigning mellem 2 °C og 4 °C⁸ medfører skadevirkninger mellem 0% og 5% af globalt output. Med forfatternes foretrukne regression og korrektion for ikke-prissatte skader finder de, at en temperaturstigning på 3 °C forventes at medføre skadevirkninger, der svarer til 2,04% ($\pm 2,21\%$)⁹ af globalt output¹⁰. Tilsvarende for en temperaturstigning på 6 °C estimeres effekten til 8,16% ($\pm 2,43\%$).

Nordhaus og Moffat (2017) bemærker, at estimerne der undersøges i studiet, sandsynligvis undervurderer de sande skader. Det skyldes, at selvom der er mange studier af konsekvensanalyser af forskellige områder, er der meget få, der dækker alle sektorer og regioner. Derfor er der et begrænset antal studier af de samlede skadevirkninger ved klimaforandringer. Derudover dækker de fleste konsekvensestimater få ikke-markeds-mæssige påvirkninger. F.eks. er estimer af tab fra økosystemer eller skader fra smeltende permafrost udeladt eller upålidelige.

Der er et stort overlap mellem de anvendte studier i de to metaanalyser af Nordhaus og Moffat (2017) og Howard og Sterner (2017), da 17 studier overlapper.

Hvad er forskellen på de to metastudier?

Howard og Sterner (2022) gennemgår forskellen på Nordhaus og Moffat (2017) og Howard og Sterner (2017). Selvom begge er metastudier, er der stor forskel på implikationerne for klimapolitikken, da skadesfunktionerne estimeres forskelligt. Howard og Sterner (2022) finder, at forskellene stammer fra forskelle i metodiske samt subjektive beslutninger.

Howard og Sterner (2022) kombinerer de to datasæt i hhv. Nordhaus og Moffat (2017) og Howard og Sterner (2017) og anvender kvalitetsvægte fra Nordhaus og Moffat (2017). Her estimerer Howard og Sterner (2022) at en temperaturstigning på 3 °C medfører skadevirkninger svarende til mellem 7% og 10% af output, afhængig af inklusionen af katastrofale skader og produktivitet. Howard og Sterner (2022) introducerer ligeledes en alternativ specifikation, der skal begrænse subjektiviteten i vægtningsantagelser i Nordhaus og Moffat (2017) og Howard og Sterner (2017). Ved at udvikle nye vægtningsregler finder Howard og Sterner (2022), at en temperaturstigning på 3 °C medfører skadevirkninger svarende til mellem 7% og 16% af output. Forfatterne understreger, at den øvre ende af intervallet er følsom over for den valgte model og vægtspecifikation.

Barrage og Nordhaus (2023a) kommenterer på deres forbehold over for Howard og Sterner (2017), som skyldes, at der i metaanalysen ikke vægtes studier, samt at der inkluderes nogle studier, som Barrage og Nordhaus (2023a) vurderer ikke værende empirisk funderede. På tidspunktet for udgivelsen af Barrage og Nordhaus (2023a) var Howard og Sterner (2022) endnu ikke offentliggjort, hvorfor Barrage og Nordhaus (2023a) skriver, at de vil gennemgå estimerne fra Howard og Sterner (2022), når de er færdige.

⁸ Relativt til den førindustrielle periode

⁹ Nordhaus og Moffat (2017) præsenterer deres skadesestimater med et negativt fortegn. Forfatterne bemærker, at skadesestimater i andre studier ofte præsenteres med positivt fortegn. I dette notat præsenteres skadevirkninger med positivt fortegn, hvilket skal fortolkes som omfanget af skader som andel af globalt output.

¹⁰ Nordhaus og Moffat (2017) skriver "indkomst" frem for output. I dette notat henvises til skader målt ved globalt output.

Social cost of carbon

Fra at have estimeret skadevirkninger ved global opvarmning mangler stadig nogle skridt, førend man kan estimere den cost-benefit optimale pris på drivhusgasudledninger. Opgørelsen af skadevirkninger kan betragtes som gevinsten ved at undgå dem og udgør derfor gevinsterne i en cost-benefit betragtning. Dog er det også væsentligt at opgøre reduktionsomkostningerne for temperaturstigninger. Omkostningerne består i, at samfundet begrænser drivhusgasintensive aktiviteter, producerer varer og tjenesteydelser med lav eller ingen klimabelastning samt fjerner allerede udledte drivhusgasser fra atmosfæren. Det er, ligesom med klimagevinsterne, heller ikke let at opgøre omkostningerne. I økonomiske modeller anvendes typisk et statistisk estimat, der relaterer energiforbrug og emissioner til priser og indkomster. På den måde estimeres det, hvad de samlede reduktionsomkostninger er i en økonomi (Nordhaus, 2013).

I DICE-2023 beregnes reduktionsomkostninger ved blandt andet at tage udgangspunkt i de estimerede omkostninger ved et sæt teknologier, der fuldt kan erstatte alle fossile brændstoffer. Det kan være teknologier som sol- og vindenergi, sikker atomkraft eller en endnu ikke opdaget kilde. Et sæt teknologier, der fuldt kan erstatte alle fossile brændstoffer, kaldes også for en 'backstop-teknologi'. Det forudsættes at omkostningerne til backstop-teknologien på kort sigt vil være høj, men faldende over tid som følge af teknologiske fremskridt (Barrage og Nordhaus, 2024). Barrage og Nordhaus (2024) antager at omkostningerne ved backstop-teknologien falder med 1 pct. årligt fra 2020 til 2050, og derefter med 0,1 pct. om året. I DICE-modellen antages de marginale omkostninger ved at reducere udledninger til nul, det vil sige en kontrolrate på 100 pct., at være lig med prisen på backstop-teknologien (Barrage og Nordhaus, 2024).

Når man har stier for gevinster og reduktionsomkostninger ved temperaturstigninger, kan den optimale temperaturstigning, set fra et samfundsøkonomisk perspektiv, og alternative temperaturstigninger estimeres. Ofte beregnes optimale temperaturstigninger for år 2100.

Herfra kan man beregne social cost of carbon (SCC). SCC betegner den diskonterede værdi af en ændring i forbrug forårsaget af udledning af et ekstra ton CO₂e. Med andre ord repræsenterer SCC den økonomiske omkostning ved udledning af ét ekstra ton CO₂e. SCC er derfor et væsentligt begreb når det kommer til klimapolitik, da den giver en indikation af, hvad prisen på udledning af drivhusgasser bør være givet et politisk ønsket fremtidsscenario (Barrage og Nordhaus, 2024). Alternativt til en cost-benefit betragtning kan SCC også beregnes for politisk besluttede scenarier, som f.eks. en temperaturstigning på maksimalt 2 °C.

Med en given specifikation stiger SCC som regel over tid. Det skyldes, at det samfundsøkonomisk er hensigtsmæssigt at udlede i et givent år indtil det punkt, hvor værdien af den marginale udledning svarer til nutidsværdien af at udskyde udledningen. Da udskydelsen diskonteres med renten, skal SCC ligeledes vokse med renten, for at nutidsværdien er konstant over tid. Denne betingelse kendes også fra (andre) udtømmelige naturressourcer.

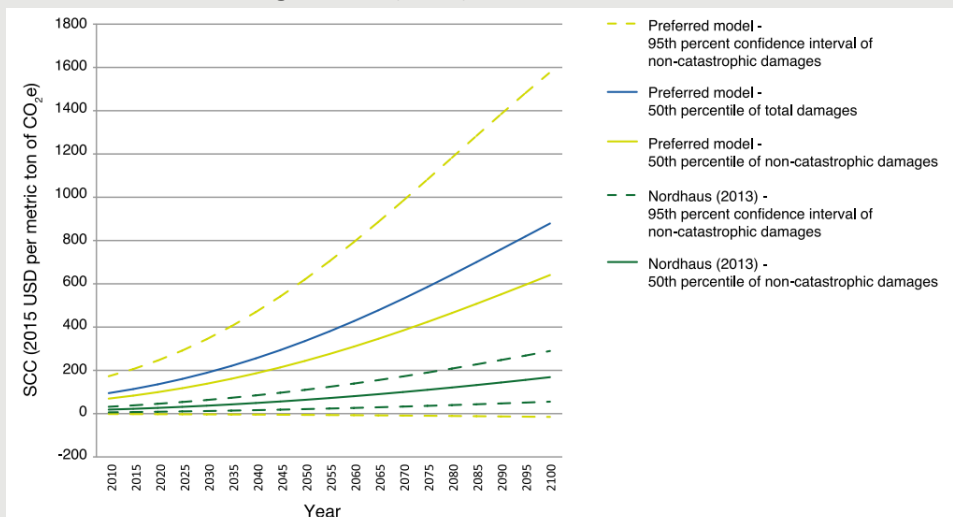
Howard og Sterner (2017) har, udover skadevirkninger, ligeledes estimeret SCC i deres metastudie. Forfatterne antager, at resultaterne fra deres metaanalyse er repræsentativ for en skadesfunktion og erstatter skadesfunktionen i DICE-2013R med deres specificerede skadesfunktion. Her vurderer forfatterne, at det er passende at ekskludere skadesestimater for høje temperaturer (over 4 °C), hvilket først og fremmest skyldes, at estimater for højere temperaturer er meget spekulative. Derudover peges der på, at estimater under 4 °C er mere relevante i dette århundrede. Howard og

Sterner (2017) estimerer SCC for udledninger i 2015 til \$68 (2015\$) med et 95% konfidensinterval fra \$16 til \$132 (svarende til omkring 900 kr. i 2024-priser med et 95%-konfidensinterval fra 200 kr. til 1.750 kr. for udledninger i 2025¹¹). Inkluderer produktivitet, dvs. skadesestimer baseret på paneldata, i specifikationen øges SCC til \$83 (2015\$) med 95% konfidensinterval fra \$2 til \$206 (svarende til omkring 1.100 kr. i 2024-priser med et 95%-konfidensinterval fra 50 kr. til 2.700 kr. for udledninger i 2025).

SCC for forskellige scenarier over tid i Howard og Sterner (2017) er præsenteret i figur 3.

Figur 3

Social Cost of Carbon i Howard og Sterner (2017)



Note: De stiplede linjer repræsenterer 95%- konfidensintervallerne for hhv. forfatterens foretrukne specifikation samt resultaterne for SCC fra DICE-2013R.

Kilde: Figur 3 i Howard og Sterner (2017).

Med SCC i den estimerede størrelsesorden i Howard og Sterner (2017) vil det betyde, at den optimale temperaturstigning er under 2,5 °C. Tages der også højde for katastrofale risici vurderes den optimale temperaturstigning at være 2,1 °C eller mindre.

Nordhaus og Moffat (2017) rapporter ikke et estimat for SCC.

Estimer for social cost of carbon er steget over tid

Tol (2023b) finder, at social cost of carbon er steget over tid. Tol (2023b) præsenterer en metaanalyse af publicerede estimer af SCC. Her anvendes 5.905 estimer fra 207 studier, der var publiceret før 2022. I analysen korrigeres der for inflation og udledningsår. Tol (2023b) finder at estimer i litteraturen af SCC¹² er steget fra \$9 til \$40 ved en høj diskonteringsrente (svarende til omkring 150 kr. til 600 kr. i 2024-priser for udledninger i år 2025). Ved en lav diskonteringsrente

¹¹ SCC er omregnet ved først at konvertere til danske kr. i det givne års priser. Derefter er SCC fremskrevet med nettoprisindekset. Slutteligt er udledningsåret fremskrevet med den nominelle korte rente i USA fra 2024 (5,05%). Danske værdier for SCC er afrundet til nærmeste 50 kr. Samme fremgangsmåde er anvendt til at omregne øvrige værdier af SCC i notatet.

¹² SCC er udtrykt i 2010\$/ton CO₂ for udledninger i år 2010.

estimeres SCC til at være steget fra \$122 til \$525 (svarende til omkring 1.800 kr. til 7.800 kr. i 2024-priser for udledninger i år 2025).

Tol (2023b) finder, at social cost of carbon er steget i takt med, at viden om klimaforandringer øges. Tol (2024) finder dog tegn på publikations- og citationsbias i litteraturen, der kan føre til at estimaterne for SCC overvurderes. Generelt konkluderer Tol (2024), at usikkerheden om SCC er stor og højreskæv.

Derudover viser resultaterne i Tol (2023b), at den valgte diskonteringsrente har meget stor betydning for den estimerede social cost of carbon. Diskonteringsrentens indflydelse diskuteres i afsnittet Diskonteringsrenten.

Barrage og Nordhaus (2024)

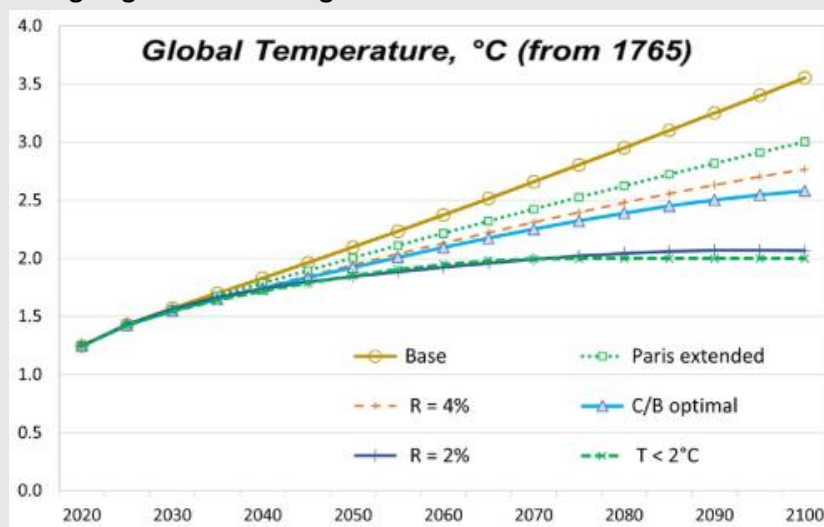
Som tidligere beskrevet bør der ikke drages generelle konklusioner ud fra enkelte studier. Alligevel introduceres i dette afsnit resultaterne fra Barrage og Nordhaus (2024). Forfatterne introducerer den nyeste versioner af DICE, mere specifikt DICE-2023 modellen. Selvom der her er tale om et enkelt studie er det stadig relevant at se, hvad den nyeste forskning på området finder. Studiet i sig selv er ikke en metaanalyse, men den anvendte skadesfunktion bygger videre på den estimerede skadesfunktion i Nordhaus og Moffat (2017), der som tidligere beskrevet er identificeret vha. en regression af estimater fra en række studier. Ligeledes præsenteres der i Barrage og Nordhaus (2024) resultater fra DICE-2023 med en skadesfunktion fra Howard og Sterner (2017).

Barrage og Nordhaus (2024) estimerer både globale skadevirkninger, temperaturudvikling samt SCC.

Figur 4 illustrerer globale temperaturstigninger under forskellige scenarier relativt til den førindustrielle periode i Barrage og Nordhaus (2024).

Figur 4

Global temperaturstigning under forskellige scenarier



Note: De forskellige scenarier er beskrevet nedenfor.

Kilde: Figur 3 i Barrage og Nordhaus (2024)

Scenarier i Barrage og Nordhaus (2024)

I figur 4 er seks forskellige scenarier præsenteret. Basisscenariet (Base) er estimeret af nuværende klimapolitikker, og tager udgangspunkt i, at tendenserne i de nuværende politikker fra 2023 forlænges på ubestemt tid. I scenariet for Paris-aftalen udvidet (Paris extended) antages det, at landene opfylder deres mål i 2030 i henhold til deres reviderede løfter fra sommeren 2022 og der forventes en stigning på lidt mindre end 0,5%-point om året i kontrolraten¹³ fra 2030-2100 (fremskrivninger efter 2030 er ikke baseret på landenes forpligtelser, men er derimod forfatterens formodninger). I det cost-benefit-optimale scenarie (C/B optimal) maksimerer klimapolitikken den økonomiske velfærd i henhold til principperne for cost-benefit-analyse, med fuld deltagelse af alle nationer fra 2025. I et temperaturbegrænset scenarie ($T < 2^\circ\text{C}$) gennemføres de cost-benefit-optimale politikker med en yderligere begrænsning om, at den globale temperatur ikke overstiger 2°C . $R=4\%$ og $R=2\%$ indikerer scenarier med forskellige diskonteringsrenter på hhv. 2% og 4%.

I basisscenariet, dvs. med nuværende klimapolitikker, estimeres den globale temperaturstigning i 2100 til $3,6^\circ\text{C}$ med årlige skadevirkninger, der når 4,4% af output i år 2100. I det optimale cost-benefit scenarie er de tilsvarende estimeret $2,6^\circ\text{C}$ og årlige skadevirkninger, der når 2,3% af output i år 2100.

Skadesfunktionen i Barrage og Nordhaus (2024) er baseret på skadesfunktionen fra Nordhaus og Moffat (2017) ved for det første at udvide den med nyere studier af globale skadevirkninger af klimaforandringer baseret på et review af Piontek m.fl. (2021). Ligesom koefficienten for skadevirkninger i Nordhaus og Moffat (2017) og Howard og Sterner (2017) justeres for at tage højde for usikkerheder og udeladte skadevirkninger, justerer Barrage og Nordhaus (2024) ligeledes deres estimat for globale skadevirkninger. Initialt har Barrage og Nordhaus (2024) med DICE-2023 estimeret, at en temperaturstigning på 3°C medfører skadevirkninger svarende til 1,6% af globalt output. Herfra tilføjer de 1% output tab ved en temperaturstigning på 3°C for at tage højde for vippepunkter¹⁴. Til sidst tilføjes også en komponent, der skal tage højde for usikkerheder og udeladte skadevirkninger på 0,5% af output ved en 3°C temperaturstigning. Komponenten er en skønsmæssig justering, der forsøger at dække over manglende sektorer, virkninger af klimaforandringer, der endnu ikke er pålideligt kvantificeret i litteraturen, usikkerhed og nyere forskning, der ikke er afspejlet i forfatterens sammenfatning af samlede skadesestimater. Dermed estimeres skadevirkningen ved en temperaturstigning på 3°C til 3,1% af globalt output samt tilsvarende 7,0% ved en temperaturstigning på $4,5^\circ\text{C}$ ¹⁵.

Udover estimeret for temperaturstigninger og skadevirkninger har Barrage og Nordhaus (2024) også estimeret SCC for de forskellige scenarier. I tabel 1 er SCC for forskellige scenarier præsenteret.

¹³ Med kontrolraten menes andel af emissioner undgået.

¹⁴ Estimateret er baseret på Dietz, Rising, m.fl. (2021), som er et omfattende studie af vippepunkter.

¹⁵ Forfatterne bemærker, at modellen ikke er kalibreret til skadesestimater for temperaturstigninger på over 4°C og at den derfor ikke er velegnet til at estimere skadevirkninger ved temperaturstigninger over 4°C .

Tabel 1
SCC under forskellige scenarier (DKK/ton, 2024 DKK)

Scenarie/udledningsår	2020	2025	2050
Cost-benefit optimal	400	450	950
T < 2 °C	600	700	1.650
T < 1,5 °C	27.400	32.250	127.500
Alternativ skadesfunktion	950	1.100	2.150
Paris-aftalen udvidet	450	550	1.200
Basis	500	600	1.350
R=5%	250	300	550
R=4%	400	450	800
R=3%	650	800	1.350
R=2%	1.350	1.600	2.350
R=1%	3.750	4.400	5.350

Note: SCC er omregnet ved først at konvertere til danske kr. i det givne års priser. Derefter er SCC fremskrevet med nettoprisindekset. SCC er afrundet til nærmeste 50 kr.

Kilde: Tabel 2 i Barrage og Nordhaus (2024).

Af tabel 1 fremgår det, at den cost-benefit optimale SCC i 2025 er omkring 450 kr. i 2024-priser. I det cost-benefit optimale scenarie stiger SCC til omkring 950 kr. i 2050. Er det ønskelige fremtidsscenarie derimod at holde temperaturstigningerne under 2 °C, er SCC i 2025 omkring 700 kr. De forskellige scenarier med diskonteringsrenter illustrerer, hvor følsom SCC er over for den valgte diskonteringsrente. I det cost-benefit optimale scenarie estimeres temperaturstigningen i år 2100 til 2,6 °C.

I tabel 1 er også præsenteret et alternativt scenarie (alternativ skadesfunktion), som anvender en skadesfunktion fra Howard og Sterner (2017) til at beregne SCC med DICE-2023¹⁶. Derfor er det ikke overraskende, at SCC i det alternative scenarie er estimeret til omkring 1.100 kr., hvilket er knap 2,5 gange større end den estimerede SCC i det cost-benefit-optimale scenarie, som grundlæggende anvender (en udvidet) skadesfunktion fra Nordhaus og Moffat (2017). I det alternative scenarie estimeres temperaturstigningen i år 2100 til 1,9 °C (Barrage og Nordhaus, 2023b).

I hverken det cost-benefit optimale scenarie i Barrage og Nordhaus (2024) eller scenariet baseret på skadesfunktionen i Howard og Sterner (2017) forventes netto nul udledninger globalt i 2050. I det cost-benefit optimale scenarie i Barrage og Nordhaus (2024) estimeres det, at der udledes 37,1 Gt CO₂ i 2050. Tilsvarende for scenariet baseret på Howard og Sterner (2017) estimeres det, at der udledes 20,9 Gt CO₂ i 2050 (Barrage og Nordhaus, 2023b).

Det er heller ikke så mærkeligt, at det er tilfældet. Der vil være store omkostninger forbundet med netto nul udledninger. Ifølge Barrage og Nordhaus (2024) vil netto nul udledninger medføre omkostninger svarende til 11% af output i 2020 faldende til 2,7% af output i 2100¹⁷.

¹⁶ Barrage og Nordhaus (2024) anvender i det alternative scenarie baseret på skadesfunktionen i Howard og Sterner (2017) et skadesestimat på 9% af globalt output ved en temperaturstigning på 3 °C. Estimatet er tre gange større end skadesestimatet, der ellers anvendes i DICE-2023.

¹⁷ Det fremgår ikke tydeligt, hvornår udledningerne vil være netto nul. Dog fremgår det af Barrage og Nordhaus (2023b), at det antages at modellen ikke tillader netto nul udledninger før 2070 og negative udledninger før 2120.

Af tabel 1 fremgår det, at Parisaftalens mål om at stræbe efter at begrænse temperaturstigningen til 1,5 °C ikke består en cost-benefit test. Barrage og Nordhaus (2024) beskriver endda, at en maksimal temperaturstigning på 1,5 °C realistisk set er umuligt, da det vil kræve at udledninger falder til næsten nul i løbet af de næste 5 år. Det vil enten betyde, at produktionen skulle falde meget markant (med omkring 75%) eller at acceleration i udledningsreduktioner skulle stige usandsynligt meget.

I scenariet med temperaturstigninger på maksimalt 2 °C er SCC også højere end under et cost-benefit-optimalt scenarie. Det indikerer, at Paris-aftalens øvre mål om at temperaturen maksimalt må stige 2 °C heller ikke lever op til at være et cost-benefit-optimalt scenarie. Af Barrage og Nordhaus (2024) fremgår det, at nutidsværdien af fremtidigt forbrug vil være 0,2 pct. mindre under Parisaftalens mål om en temperaturstigning på maksimalt 2 °C end under det cost-benefit optimale scenarie. Parisaftalens målsætning om maksimalt 2 °C er derfor markant tættere på at være et cost-benefit optimalt scenarie end målsætningen om maksimalt 1,5 °C er.

Tol (2023a) finder ligeledes, at Parisaftalen ikke består en cost-benefit test medmindre, der antages høj risikoaversion og lav diskonteringsrente. Betragtes andre scenarier end det cost-benefit-optimale scenarie i Barrage og Nordhaus (2024), såsom den alternative skadesfunktion eller tilpas lav diskontering (2%), består 2 °C målet en cost-benefit test.

Det er værd at bemærke, at temperaturstigningen ved det cost-benefit optimale scenarie er noget lavere end i tidligere opgørelser med DICE-modellen, hvilket skyldes en række justeringer i den anvendte IAM. Der er fire større revisioner i DICE-2023 i forhold til DICE-2016. Den mest betydningsfulde revision er, ifølge Barrage og Nordhaus (2024), nye kulstof- og klimakredsløb. I DICE-2023 integreres DFAIR-modulet, som anbefalet af (Dietz m.fl., 2021). DFAIR er DICE versionen af FAIR-modellen. FAIR-modellen er bygget til at reproducere, hvordan komplekse modeller for jordens systemer opfører sig og bruges i vid udstrækning af IPCC (Dietz m.fl., 2021). Ifølge Barrage og Nordhaus (2023b) adresserer DFAIR et centralt problem ved tidligere versioner af DICE, nemlig en for langsom respons i den globale temperaturstigning som følge af drivhusgasudledninger. Den nye modelkomponent vurderes samlet set at fungere tilfredsstillende. Dog bemærkes en mindre tendens til at undervurdere atmosfæriske koncentrationer på kort sigt samt visse afvigelser fra mere omfattende jordsystemmodeller. Barrage og Nordhaus (2023b) vurderer dog, at disse afvigelser kun har begrænset betydning og opfordrer til yderligere forskning for øvrige forbedringer.

En anden metodisk ændring er, hvordan diskontering håndteres i modellen. Til forskel fra tidligere tages der i DICE-2023 højde for investeringsrisikoen i forbindelse med klimainvesteringer. Derudover inddrages også et forsigtighedsudtryk i diskonteringsrenten for at afspejle usikkerhed om fremtidig vækst. Med disse revisioner anvendes en diskonteringsrente på kort sigt på 4,5% årligt, som derfor er lavere end i DICE-2016, der tilsvarende antager en diskonteringsrente på kort sigt på 5% årligt i 2020. På langt sigt er diskonteringsrenten i DICE-2023 betydeligt lavere end i DICE-2016.

En lavere diskonteringsrente betyder, at fremtiden tillægges mere værdi end ved en høj diskonteringsrente. Som illustreret i både figur 4 og tabel 1 har diskonteringsrenten væsentlig betydning for bl.a. SCC.

En tredje ændring er skadesfunktionen. Her opdaterer Barrage og Nordhaus (2024) den estimerede skadesfunktion i Nordhaus og Moffat (2017), bl.a. ved at tilføje nyere studier. Derudover justeres skadesestimaterne ved at tage højde for usikkerheder og udeladte skadevirkninger som beskrevet ovenfor. Den fjerde større revision er, at det i modellen nu er muligt at reducere andre drivhusgasser

end industriel CO₂ i modellen. Det betyder, at modellen også kan håndtere, at CO₂e fra arealanvendelse og andre udledninger også kan reduceres. Således kan 95% af udledningerne håndteres i DICE-2023. I DICE-2016 var den tilsvarende andel 80%.

Forskellige prognoser for temperaturudvikling

Ovenstående beskriver en række scenarier for skadevirkninger ved klimaforandringer, SCC samt forventede temperaturstigninger ved cost-benefit optimale scenarier. Andre kilder undersøger, hvad sandsynlige temperaturstigninger er. IEA, IPCC og FN udgiver løbende rapporter, som undersøger forskellige sandsynlige scenarier for den globale temperaturudvikling. Prognoserne fra de forskellige institutioner dækker over en række forskellige scenarier, der hver er baseret på varierende forudsætninger. Disse er beskrevet nedenfor.

IEA

International Energy Agency (2024) introducerer flere prognoser. Prognosen for erklærede politikker (STEPS) inkluderer de seneste politiktiltag, der vedrører energi-, klima-, og industripolitikker i lande verden over. Det antages dog ikke, at målet med politikkerne nødvendigvis opfyldes, og inkluderes kun i scenariet i det omfang, at det er sandsynliggjort, at tilstrækkelige foranstaltninger er gennemført. I prognosen for annoncerede tiltag (APS) tages der udgangspunkt i de samme erklærede politikker som under STEPS, forskellen er at det i denne prognose antages, at alle nationale energi- og klimamål, herunder langsigtede mål for netto-nuludledning og løfter i de nationale klimahandlingsplaner (NDC'er)¹⁸, opfyldes fuldt ud og til tiden (International Energy Agency, 2024).

IPCC

IPCC (2023) har ikke en egentlig prognose, men beskriver en række sidestillede scenarier for fremtidig temperaturstigning (år 2081-2100). Her vurderes de bedste skøn og mest sandsynlige intervaller for opvarmning. SSP1-1.9¹⁹ er et scenarie med meget lave drivhusgasudledninger. SSP2-4.5²⁰ er et scenarie med mellemstore drivhusgasudledninger. SSP5-8.5²¹ er et scenarie med meget høje drivhusgasudledninger. IPCC (2023) forholder sig ikke til sandsynligheden for de forskellige scenarier, men beskriver dog, at scenariet for meget høje drivhusgasudledninger (SSP5-8.5) er blevet mindre sandsynligt.

I IPCCs rapporter fremhæves usikkerheden forbundet med den såkaldte klimasensitivitet – dvs. hvor meget temperaturen stiger som følge af en fordobling af koncentrationen af CO₂e i atmosfæren. I den seneste rapport er usikkerheden imidlertid indsnævret en smule²², det er dog over et længere perspektiv ikke tydeligt at usikkerheden er faldende (Hassler m.fl., 2024). I den seneste rapport

¹⁸ Ifølge Paris-aftalen skal hvert land skitser og kommunikere klimatiltag, de har til hensigt at opnå, efter 2020. Disse kaldes nationale klimahandlingsplaner (NDC'er). (se: [https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs#:~:text=Nationally%20determined%20contributions%20\(NDCs\)%20are,the%20impacts%20of%20climate%20change.](https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs#:~:text=Nationally%20determined%20contributions%20(NDCs)%20are,the%20impacts%20of%20climate%20change.))

¹⁹ Scenariet har CO₂-udledninger, der falder til netto-nul omkring 2050.

²⁰ Scenariet har en CO₂-udledning, der forbliver omkring det nuværende niveau indtil midten af århundredet.

²¹ Scenariet har en CO₂-udledning, der er omtrent dobbelt så høj som det nuværende niveau i 2050.

²² Se figur 'AR6 narrows the range for equilibrium climate sensitivity and 'rules out' low values <https://www.carbonbrief.org/in-depth-q-a-the-ipccs-sixth-assessment-report-on-climate-science/>

vurderes det centrale estimat til 3 °C, med et sandsynligt interval (66%) fra 2,5 °C til 4,0 °C. Mere sandsynligt (5% til 90% sikkerhed) vurderes klimasensitiviteten til at være mellem 2 °C og 5 °C.

I DICE-2023 anvendes det centrale parameterestimat på 3 °C for klimasensitivitet for dermed at stemme overens med IPCC (2023) (Barrage og Nordhaus, 2023).

Barrage og Nordhaus (2023a)

Scenarierne for nuværende klimapolitikker og for Paris-aftalen (udvidet) er beskrevet nærmere i afsnittet Scenarier i Barrage og Nordhaus (2024).

FN

I United Nations Environment Programme (2024) introduceres ligeledes en række prognoser. I prognosen for nuværende klimapolitikker antages det, at alle vedtagne og implementerede politikker per november 2023 er realiseret, og at der ikke træffes yderligere foranstaltninger. Efter 2030 antages det at indsatsen fortsætter på et lignende ambitionsniveau. Prognosen for ubetingede NDC'er dækker over, at drivhusgasudledninger fremskrives under forudsætning af fuld implementering af de seneste NDC'er, der ikke afhænger af international støtte, såsom finansiering, teknologioverførsel og/eller kapacitetsopbygning (skæringsdato: september 2024). Efter 2030 antages en fortsat indsats på et lignende ambitionsniveau. Prognosen for betingede NDC'er omfatter, ud over de ubetingede NDC'er, de nyeste NDC-mål, hvor implementering er betinget af at modtage international støtte (skæringsdato: september 2024). Efter 2030 antages en fortsat indsats på et lignende ambitionsniveau. Prognosen for betingede NDC'er samt løfter om nettonul bygger på de stærkeste løfter. Det omfatter opfyldelse af den betingede NDC-prognose og at alle løfter om nettonul eller andre langsigtede lavemissionsudviklingsstrategier overholdes (skæringsdato: juli 2024).

Tabel 2 opsummerer prognoserne og scenarierne for temperaturstigninger i år 2100.

Tabel 2
Prognoser og scenarier for temperaturstigninger i år 2100

Prognoser og scenarier	Sandsynlighed	Estimeret temperaturstigning	Interval
IEA			
STEPS	50%	2,4 °C	
APS	50%	1,7 °C	
IPCC (scenarier)			
SSP1-1.9		1,4 °C	[1,0 °C til 1,8 °C]
SSP2-4.5		2,7 °C	[2,1 °C til 3,5 °C]
SSP5-8.5		4,4 °C	[3,3 °C til 5,7 °C]
DICE-2023			
Nuværende klimapolitikker		3,6 °C	
Parisaftalen udvidet		3,0 °C	
FN			
Nuværende klimapolitikker	50%	2,9 °C	[1,8 °C til 3,5 °C]
	66%	3,1 °C	[1,9 °C til 3,8 °C]
	90%	3,6 °C	[2,3 °C til 4,5 °C]
Ubetingede NDC'er	50%	2,6 °C	[1,8 °C til 3,4 °C]
	66%	2,8 °C	[1,9 °C til 3,7 °C]
	90%	3,4 °C	[2,3 °C til 4,4 °C]
Betingede NDC'er	50%	2,4 °C	[1,8 °C til 3,3 °C]
	66%	2,6 °C	[1,9 °C til 3,6 °C]
	90%	3,0 °C	[2,2 °C til 4,2 °C]
Betingede NDC'er samt løfter om nettonul	50%	1,7 °C	[1,6 °C til 2,2 °C]
	66%	1,9 °C	[1,8 °C til 2,3 °C]
	90%	2,3 °C	[2,0 °C til 2,8 °C]

Note: Antagelser bag prognoser og scenarier er beskrevet ovenfor.

Resultaterne i IEA skal tolkes, som at temperaturen stiger med f.eks. 2,4 °C i år 2100 med 50% sandsynlighed under STEPS. Resultaterne i IPCC skal fortolkes, således at i scenariet SSP1-1.9 er det bedste estimat for opvarmning i år 2081-2100 1,4 °C, mens det meget sandsynlige interval er mellem 1,0 °C til 1,8 °C. For FNs prognoser fortolkes resultaterne således, at f.eks. under nuværende klimapolitikker estimeres den globale opvarmning at begrænses til maksimalt 3,1 °C med mindst 66% sandsynlighed, hvor intervallet 1,9 °C til 3,8 °C illustrerer den fulde minimum-maksimum variation på tværs af antagelser. Tilsvarende estimeres det, at stigningen maksimalt er 3,6 °C med mindst 90% sandsynlighed. FN fremhæver typisk temperaturprognoser for 66% ssh.

Kilde: International Energy Agency (2024), IPCC (2023), United Nations Environment Programme (2024) samt Barrage og Nordhaus (2023a)

At de forventede temperaturstigning i hhv. International Energy Agency (2024), IPCC (2023), United Nations Environment Programme (2024) og Barrage og Nordhaus (2023a) ikke stemmer helt overens skyldes formentlig både forskelle i de anvendte modeller, men også forskellige forudsætninger for de undersøgte scenarier. Temperaturstigninger i scenarier baseret på, hvad der kan tolkes som nuværende klimapolitikker (inkl. STEPS og SSP2-4,5) ligger i et interval på 2,4 °C til 3,6 °C.

United Nations Environment Programme (2024) finder, ligesom Barrage og Nordhaus (2024), at hvis nuværende politikker og NDC'er fortsætter med samme ambitioner, er der stort set ingen chance for at begrænse temperaturstigningen til 1,5 °C.

Hvordan påvirkes velstandsniveauet af klimaforandringer?

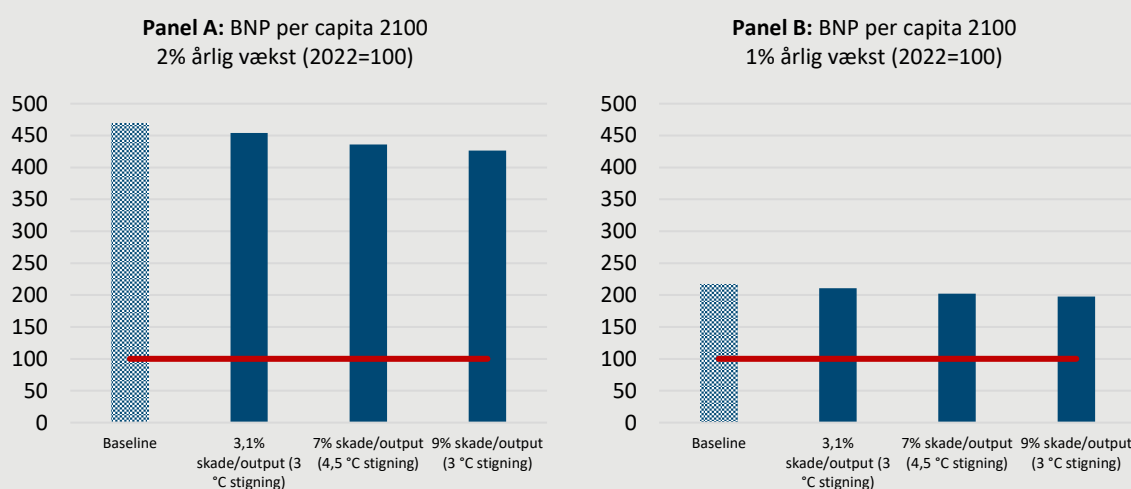
Foregående afsnit introducerer forventede skadevirkninger for forskellige temperaturstigninger samt sandsynlige temperaturstigninger. Barrage og Nordhaus (2024) estimerer, at skadevirkninger ved globale temperaturstigninger på 3 °C og 4,5 °C er hhv. 3,1% og 7% af globalt output i år 2100.

Tilsvarende vurderer Barrage og Nordhaus (2024), baseret på skadesfunktionen i Howard og Sterner (2017), at skadevirkninger ved en global temperaturstigning på 3 °C er 9% af globalt output i år 2100.

For at perspektivere niveauet for skadevirkninger, præsenteres i figur 5 velstandsniveauet i år 2100 under antagelse om årlig økonomisk vækst per capita på hhv. 1% og 2%. Til sammenligning har den økonomiske vækst per capita de sidste 50 år globalt i gennemsnit været omkring 1,5% årligt²³.

Figur 5

Velstandsniveauet i år 2100 under forskellige vækstscenarier



Kilde: Egne beregninger baseret på World Bank og med mindre bearbejdning af Our World in Data (2023), Howard og Sterner (2017 samt Barrage og Nordhaus (2024).

Figur 5 illustrerer, at selv under antagelse af betydelige temperaturstigninger og lave vækstrater (panel B), vil verden have en markant højere levestandard i år 2100 sammenlignet med i dag baseret på skadesestimaterne fra Barrage og Nordhaus (2024) og Howard og Sterner (2017). Med en årlig vækstrate på 2 pct. vil velstanden være 4,5 gange højere i år 2100 sammenlignet med i dag. Tilsvarende for en årlig vækstrate på 1 pct. vil velstanden vil være dobbelt så høj i år 2100 sammenlignet med i dag. De prikkede søjler illustrerer, hvad velstanden ville være i år 2100, hvis klimaforandringer ikke havde indflydelse på velstandsniveauet (baseline). Det er selv sagt ikke et realistisk scenarie, men inkluderes for at illustrere, hvordan temperaturstigninger påvirker velstandsniveauet. Figur 5 indikerer også, at væksten har større indflydelse på velstanden end klimaforandringer har.

²³ Kilde: Verdensbankens 'World Development Indicators' (<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators/Series/NY.GDP.MKTP.KD.ZG#>)

Diskussion

Indenfor klimaøkonomien er der betydelige diskussioner. Dette notat forsøger ikke at indfange alle diskussioner, men vil forsøge at opsummere en række væsentlige pointer vedrørende valg af diskonteringsrente, om vippepunkter og katastrofale hændelser, hvilke antagelser, der ligger til grund for resultaterne, hvilke begrænsninger modellerne har samt at klimaskader ramme ulige i verden.

Diskonteringsrenten

Af ovenstående gennemgang bliver det tydeligt, at den anvendte diskonteringsrente er af væsentlig betydning for resultaterne. F.eks. ses det i tabel 1 at med en diskonteringsrente på 5% er SSC estimeret til 250 kr. i 2020 og med en diskonteringsrente på 1% er SCC estimeret til at være 15 gange større på 3.750 kr. Spørgsmålet om niveauet for en passende diskonteringsrente er derfor af væsentlig betydning.

Diskonteringsrenter anvendes til at sammenligne nutidige og fremtidige værdier. Det gør den særligt relevant for cost-benefit-analyser inden for klimaøkonomien, da omkostningerne i høj grad falder i en nær fremtid, og gevinsterne ved at begrænse udledninger først viser sig i en fjernere fremtid. En lav diskonteringsrente betyder, at fremtidige værdier vægtes tættere på nutidige værdier end det gøres med en højere diskonteringsrente.

Diskussionen om valget af diskonteringsfaktor dækker over flere spørgsmål. For det første om der skal tages udgangspunkt i de præferencer, som borgerne demonstrerer i deres opsparingsadfærd, eller i hvad en "benevolent diktator" eller "social planlægger" bør anse for etisk. Et andet spørgsmål er i hvilken grad investeringer i lavere global opvarmning er substitut til andre investeringer.

Helt grundlæggende fremfører Becker m.fl. (2011), at der skal anvendes en diskonteringsfaktor, der som udgangspunkt svarer til markedsrenten, uanset valget af vægtning af fremtidige generationers velfærd. Det skyldes, at investeringer i at reducere den globale opvarmning konkurrerer med andre måder at efterlade arv til kommende generationer på. Da andre investeringer afkaster en markedsrente, skal også klimarelaterede projekter kunne bære en tilsvarende forrentning, uanset om investeringerne udelukkende blev foretaget i fremtidige generationers interesse. Det svarer i princippet til, at en person, som sparer op til sin egen pension, ikke bør vælge en placering, som kaster mindre af sig end et bedre alternativ.

Et springende punkt ved valg af diskonteringsrente er derfor, i hvilken grad projekter til at reducere eller afbøde global opvarmning kan substitueres med anden form for kapital, som forrentes med markedsrenten. Ved fuld substitution bør markedsrenten anvendes som diskonteringsfaktor. Der kan imidlertid være grunde til, at klimaprojekter og anden kapital ikke fuldt ud kan substituere hinanden. Det kan ligeledes være tilfældet for andre offentlige projekter.

Finansministeriet (2021) peger således på, at der bør anvendes en faldende risikofri rente over tid i samfundsøkonomiske analyser, fordi usikkerhed om fremtiden medfører stigende usikkerhed om alternativafkastet til offentlige investeringer over tid (realafkastet på kapital). Ligeledes argumenterer Finansministeriet (2021) for, at risikotillægget bør gå mod 0%, for at den samfundsøkonomiske diskonteringsrente går mod den risikofrie realrente over tid. Her beskrives, at det faldende risikotillæg skal ses i sammenhæng med, at et projekt kan betragtes at indeholde et vist

forsikringselement, da nytten ved et projekt alt andet lige vil være større i mindre gunstige fremtidige tilstande. Det svarer dermed til en aftagende risikopræmie over tid (Finansministeriet, 2021). Det bemærkes, at med opdateringen i Finansministeriet (2021) er diskonteringsrenten i Danmark en af de hurtigst faldende i en international sammenhæng. Barrage og Nordhaus (2024) samt Howard og Sterner (2017) anvender ligeledes en aftagende diskonteringsrente over tid.

Det er samtidig blevet diskuteret, om etiske overvejelser tilsiger, at fremtidige og nutidige generationers nytte bør vægtes ens, hvilket især blev lagt til grund i Stern Review (Stern, 2006).

Nordhaus (2007) introducerer et tankeeksperiment for at illustrere implikationerne ved at anvende meget lave tidspræferencerater som i *the Stern Review* og argumenterer for, at tilgangen deri ikke nødvendigvis er etisk. I tankeeksperimentet antages det, at forskere opdager en brist i klimasystemet, der medfører skadevirkninger svarende til 0,1% af forbruget i år 2200 og som forbliver på samme niveau i al evighed. Her kan man beregne størrelsen på omkostninger, der kan berettige at fjerne bristen i klimasystemet og dermed undgå de relativt små skadevirkninger, der ligger 200 år ude i fremtiden. Ved at anvende metoden fra *the Stern Review*, herunder lave diskonteringsrater, beregner Nordhaus (2007), at samfundet i dag bør betale op til 56% af et års verdensforbrug for at fjerne bristen. Med andre ord kan man med antagelserne i *the Stern Review* retfærdiggøre en reduktion i forbruget pr. indbygger i dag²⁴ fra \$10.000 til \$4.400 for at forhindre en reduktion i forbruget fra \$130.000 til \$129.870 i år 2200. Resultatet skyldes, at værdien af at forhindre omkostningen langt ude i fremtiden har næsten samme værdi som hvis omkostningen forekom i dag. Her kan man formentlig formulere argumenter for, hvorfor dette ikke nødvendigvis vil være en etisk fremgangsmåde.

Arrow (1995) fremhæver et andet perspektiv på valg af diskonteringsrenter. Ingen generation kan kontrollere fremtiden. Det betyder, at hver generation kan beslutte, hvor meget der efterlades til den næste generation, som dernæst vælger, hvor meget der efterlades til den efterfølgende generation osv. Det kan fortolkes således, at reduceres der kraftigt i udledning af drivhusgasser til en høj omkostning i dag, er der risiko for, at den næste generation bruger hele opsparingen (i.e. kapacitet til drivhusgasser i atmosfæren). Dette bør man være sig bevidst, ved valg af diskonteringsrenter. De skal således tage hensyn til risikoen for, at én af de kommende generationer vil vælge en lavere vægtning af fremtiden.

Det er væsentligt, at valget af en etisk begrundet lavere diskonteringsfaktor ikke alene har betydning for klimapolitik, men for den samlede opsparing (hvor til investeringer i mindre opvarmning kan medregnes). F.eks. indebærer Stern Reviews forudsætninger, at opsparingsraten skulle forøges betragteligt og det aktuelle forbrug skulle reduceres markant. Stigningen skulle være stor nok til at drive en nedgang i det marginale afkast af kapital, som matcher den lave diskonteringsfaktor. Hvis det alene er klimapolitikken og ikke den øvrige opsparing - såvel den offentlige som den private - som tilrettelægges efter en etisk betinget lavere diskonteringsrente, vil det medføre en forvridding med overinvesteringer i klimatiltag relativt til anden kapital.

Endelig er det væsentligt at være opmærksom på, at forestillingen om én beslutningstager, som skal foretage den etiske vægtning mellem nutid og fremtid, hverken behøver at være etisk eller praktisk relevant. Økonomisk teori anvender til tider en hypotetisk forudsætning om en "social planlægger", som diktatorisk træffer samfundsmæssige beslutninger, og som har brug for en vægtning af f.eks.

²⁴ Artiklen er fra 2007, hvilket "i dag" henviser til. At vi i dag skriver 2025 ændrer ikke på den generelle pointe.

generationer. Den er imidlertid sjældent opfyldt, og det er i stedet op til individer at træffe afgørelser på egen hånd og gennem demokratiske beslutningssystemer, som ikke opfylder samme konsistenskrav og etiske krav som individuelle beslutninger. Når det drejer sig om prioriteringen mellem generationer, er det i sidste ende en beslutning, som afhænger af den enkeltes valg af, hvad man vil overlade til næste generation. Den enkelte kan således korrigere for politiske beslutninger. I yderste fald kan individuelle beslutninger helt immunisere politiske opsparingsbeslutninger, således som det kendes fra statsgældsteorien og såkaldt ricardiansk ækvivalens (Barro, 1974). Mulighederne for at træffe ikke-immuniserede politiske beslutninger stiger dog i takt med, at substitutionen mellem den politisk besluttede kapital (f.eks. klimaprojekter) og anden opsparing aftager.

I Barrage og Nordhaus (2024), hvor DICE-2023 præsenteres, er en af opdateringerne til modellen, at metoden til at bestemme den anvendte diskonteringsrente er opdateret. Her introduceres en såkaldt klima-beta, som måler i hvilken grad klimainvesteringer, som f.eks. vedvarende energi, deler de samme ikke-diversificerbare risici, der er for investeringer i den samlede økonomi. En klima-beta på nul indikerer, at risikoen ved klimainvesteringer er ukorreleret med markedsafkastet, hvor en klima-beta på ét indikerer, at risikoen ved klimainvesteringer ligner dem i den samlede økonomi. Barrage og Nordhaus (2024) antager en klima-beta på 0,5 baseret på resultaterne i Dietz m.fl. (2018).

I Barrage og Nordhaus (2024) anvendes således en diskonteringsrente på 4,5%/år, som er faldende over tid. Howard og Sterner (2017) anvender DICE-2013R til at estimere SCC. I DICE-2013R anvendes en diskonteringsrente på omkring 5%/år, som falder over tid (Nordhaus og Sztorc, 2013). Disse diskonteringsrenter tager udgangspunkt i observerede tidspræferencer, mens Barrage og Nordhaus (2024) tager hensyn til, at klimainvesteringer ikke er fuldt substituerbare med anden kapital.

Vippepunkter og katastrofale hændelser

Vippepunkter i jordens klimasystem henviser til, at små ændringer kan føre til drastiske forandringer. Overskrides et vippepunkt, kan klimaforandringerne forstærkes og dermed accelerere opvarmning og forværre konsekvenserne ved klimaforandringer (Richardson, 2021). Eksempler på vippepunkter kan være optøning af permafrost, opløsning af indlandsis eller tilbagegang i Amazonas (Dietz m.fl., 2021).

Der er stor videnskabelig usikkerhed forbundet med vippepunkter, både vedrørende størrelse, sandsynlighed og hvordan forskellige vippepunkter interagerer med hinanden.

Skadesomkostningerne forbundet med vippepunkter er derfor ligeledes forbundet med betydelig usikkerhed (Dietz m.fl., 2021). Dietz, Rising, m.fl. (2021) finder, at inklusionen af risikoen ved vippepunkters i klimaøkonomiske modeller reducerer globalt output med omkring 1% ved en temperaturstigning på 3 °C og at SCC stiger med omkring 25% i deres primære specifikation. Det er resultaterne fra Dietz, Rising, m.fl. (2021), der får Barrage og Nordhaus (2024) til at tilføje 1% output tab til deres omkostningsfunktion ved en temperaturstigning på 3 °C, hvilket betyder at de samlede omkostninger i Barrage og Nordhaus (2024) estimeres til 3,1% ved en temperaturstigning på 3 °C.

Selvom det er muligt at modellere otte forskellige vippepunkter samt de fleste interaktioner imellem dem i Dietz, Rising, m.fl. (2021), er der stadig en række begrænsninger i litteraturen. Der er i sig selv usikkerhed vedrørende de vippepunkters og deres interaktioner, der inkluderes i modellen.

Derudover kan der være øvrige klimapåvirkninger, der ikke er inkluderet i modellen, som f.eks. tab af biodiversitet og økosystemtjenester. Dette er årsagen til at Howard og Sterner (2017) og Nordhaus

og Moffat (2017) lægger 25% oveni de prissatte skader for at afspejle ikke-prissatte skader. Barrage og Nordhaus (2024) tilføjer 0,5% outputtab til de samlede omkostninger ved en temperaturstigning på 3 °C for at tage højde for udeladte skadevirkninger.

Dietz, Rising, m.fl. (2021) peger på, at deres model, der inkluderer vippepunkter, også er påvirket af usikkerheder og uenigheder inden for klimavidenskaben og klimaøkonomien, som f.eks. klimasensitivitet og diskonteringsrenten. Dog har de fleste af disse usikkerheder ikke en stor betydning ved vurdering af effekten af vippepunkter på SCC.

Der er i litteraturen diskussion om, hvor stor risikoen er for lav-sandsynligheds katastrofale hændelser, og om disse dominerer skadesfunktionen. Weitzman (2009), (2014) argumenterer, at usikre parametre fører til såkaldte 'tykke' haler i tæthedsfunktionen, som tildeler en relativt højere sandsynlighed til sjældne hændelser end i en 'tyndhalet' tæthedsfunktion. Weitzman (2009), (2014) mener derfor, at katastrofale hændelser med lav sandsynlighed, som f.eks. ekstreme temperaturstigninger, betyder, at standardøkonomisk analyse ikke kan anvendes. Weitzman anbefaler, at sådanne katastrofale hændelser bør guide det politiske fokus og dermed motivere en strengere klimapolitik end hvad de mest sandsynlige hændelser tilsiger. Dermed anbefaler Weitzman, at klimapolitikken bør fungere som en slags forsikringspolice, der reducerer risikoen for katastrofale hændelser med lav sandsynlighed.

Nordhaus (2009) konkluderer, at Weitzman rejser relevant kritik om valg af sandsynlighedsfordelinger i analyse af beslutning under usikkerhed. Dog mener Nordhaus (2009) ikke, at det giver anledning til, at standardøkonomisk analyse ikke kan anvendes. Nordhaus (2012) søger med udgangspunkt i katastrofale hændelser i efterkrigstiden at vise, at fordelingen ikke synes præget af en "tyk" hale.

Et helt centralt spørgsmål er, hvor mange potentielle hændelser med lille risiko, men meget katastrofale konsekvenser, der findes. Hvis der kun findes én sådan trussel, kan selv en meget lille risiko tale for af forsikringshensyn at lade den være dominerende. Selv en beskeden risiko for en katastrofal klimaforandring, der udslettede det meste af eksistensgrundlaget på kloden, ville tale for at afværge risikoen. Problemet er, at der eksisterer mere end én type risiko, og at de ikke er begrænset til klimaområdet.

Nordhaus (2009) fremhæver f.eks. bioteknologi, strangelets, løsslupne computersystemer, spredning af atomvåben, uregerligt ukrudt og insekter, nanoteknologi, nye tropiske sygdomme, rumvæsener, asteroider, slavebinding af avancerede robotter osv.

Martin og Pindyck (2015) undersøger, hvordan man bør evaluere politik eller projekter, der har til formål at undgå eller reducere sandsynligheden for en katastrofal hændelse. Forfatterne peger på, at simple cost-benefit-analyse ikke holder, hvis samfundet står over for flere potentielle katastrofale hændelser, fordi det kan reducere forbruget til tæt på nul, hvilket ikke er en optimal politik. Derfor bør der tages højde for såvel antallet af potentielle katastrofale hændelser som deres indbyrdes afhængig, når politik der har til formål at undgå eller reducere sandsynligheden for sådanne hændelser, skal formuleres. Det kan medføre, at der ikke sættes ind mod alle risici, ligesom det kan tale for ikke at gøre det i et omfang, som en isoleret cost-benefit-analyse tilsiger.

Selvom der kan være argumenter for, at intensivere klimapolitikken som forsikring mod lav-sandsynligheds katastrofale hændelser, så er det ikke nødvendigvis en hensigtsmæssig politik. Det skyldes særligt, at der findes mange andre potentielle hændelser med lille risiko og katastrofale

konsekvenser. Fokuseres al indsatsen på ét område risikeres det, at samfundets ressourcer ikke anvendes hensigtsmæssigt.

Antagelser bag resultaterne

Der ligger en lang række antagelser bag resultaterne præsenteret i dette notat. Når f.eks. Barrage og Nordhaus (2024) præsenterer en cost-benefit optimal temperaturstigning på 2,6 °C og en SCC på omkring 450 kr. er det under antagelse om effektiv implementering af en CO₂e-afgift og fuld deltagelse fra alle lande. Lavere deltagelsesrater og ineffektiv politik vil derimod øge omkostningen ved grøn omstilling betydeligt (Nordhaus, 2018). Det er imidlertid formentlig ikke realistisk med effektiv implementering og fuld deltagelse, i hvert fald ikke på kort sigt.

Danmark har med grøn skattereform indført CO₂e-afgifter i stort set alle sektorer. Afgiften er dog ikke ens på tværs af sektorer. Med grøn skattereform²⁵ var det forudsat, at kvoteprisen på et ton CO₂ i 2030 ville være 750 kr. Som udgangspunkt er CO₂-afgiften på 750 kr./ton i 2030 for virksomheder, ikke omfattet af EUs kvotehandelssystem (ETS1) og 375 kr./ton for virksomheder omfattet af kvotehandelssystemet (Brøns-Petersen, 2024). Det betyder, at prisen på et ton CO₂ i 2030 for kvoteomfattede virksomheder vil bestå af kvoteprisen plus afgiften.

Det betyder, at der i Danmark ikke er en effektiv implementering af en CO₂e-afgift. Det er ikke omkostningseffektivt med uens priser på udledninger på tværs af sektorer, da der i det tilfælde vil være muligt at gennemføre billigere reduktioner i de sektorer med en relativt lav afgift sammenlignet med de sektorer med en relativt høj afgift. Tol (2023a) viser, at manglende udligning af CO₂e-priser på tværs lande let kan fordoble omkostningerne ved klimapolitikken.

Derudover er der et betydeligt omfang af dobbeltregulering af danske udledninger. Det skyldes bl.a. kvotesystemerne, ETS I og II²⁶, i EU. ETS I, der blev introduceret i 2005²⁷, dækker over sektorerne elektricitet og (dele af) varmeproduktion, energiintensiv industri og flytransport. Fra 2024-27 indføres også maritim transport. For hvert ton CO₂e, der udledes inden for de sektorer, skal der indleveres en kvote. Kvoter kan købes gennem auktioner eller tildeles gratis²⁸. Den samlede mængde drivhusgasser, der kan udledes, er styret af mængden af kvoter, der auktioneres og tildeles gratis. For nu er det planlagt, at den sidste kvote i ETS I bliver solgt i 2039, hvorfor der kun kan udledes CO₂e fra de sektorer, hvis der er gemt kvoter. Ifølge Energistyrelsen (2024) er kvoteprisen i ETS1 omkring 500 kr. per ton CO₂e i 2024. Prisen fremskrives, under en række antagelser, til at stige til godt 600 kr./ton i 2030 og knap 1.500 kr./ton i 2050 (2024-priser).

I 2027 introduceres endnu et kvotesystem, ETS II, der dækker over udledninger fra opvarmning af bygninger, vejtransport og småindustri. Princippet for ETS II er det samme som for ETS I²⁹. I Energistyrelsen (2024) forudsættes det, at kvoteprisen i ETS2 bliver omkring 200 kr./ton i 2027, stigende til omkring 400 kr./ton i 2030 og 1.100 kr. i 2050 (2024-priser). For nuværende er det planlagt, at de sidste kvoter i ETS II sælges i 2042 (De Økonomiske Råds formandskab, 2023). Ifølge

²⁵ <https://fm.dk/media/thpbmh5z/aftale-om-groen-skattereform-for-industri-mv-a.pdf>

²⁶ ETS står for Emissions Trading System

²⁷ Kilde: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en

²⁸ Incitamentet er det samme om kvoter auktioneres eller uddeles som gratiskvoter, hvis tildelingskriteriet for gratiskvoter er historiske udledninger.

²⁹ I ETS II er der dog en prisstabilitetsmekanisme, som indebærer, at der kan udstedes flere kvoter, hvis prisen overstiger et givet niveau (De Økonomiske Råds formandskab, 2023).

Klimarådet (2025) vil kvotesystemerne i de kommende år omfatte godt 80 pct. af EUs nettoudledninger.

Med den forventede prisudvikling i kvotesystemerne vil prisen på danske udledninger, der er omfattet af ETS 1 i 2030 være 975 kr./ton (375 kr. + 600 kr.), mens prisen på udledninger, der er omfattet af ETS 2 i 2030 forventes at være 1.150 kr./ton (750 kr. + 400 kr.).³⁰

Dobbeltreguleringen betyder, at udledninger fra en lang række sektorer både er omfattet af en dansk CO₂-afgift, samtidig med at de er underlagt et kvotesystem. Egenrådige danske reduktioner gennem en CO₂-afgift vil derfor føre til tæt på 100% lækage fra begyndelsen af 2030 pga. kvotesystemet³¹. Antallet af kvoter i kvotesystemerne afgør den samlede udledning af CO₂e indenfor EU. Det betyder, at hvis der er en dansk reduktion i efterspørgslen på kvoter (f.eks. som følge af en CO₂-afgift) vil prisen på kvoter falde, hvilket blot øger efterspørgslen efter kvoter andre steder i EU (De Økonomiske Råds formandskab, 2023).

Derfor vil den højere pris på danske udledninger inden for kvotesystemerne ikke føre til større klimareduktioner i EU. Det er derfor også ineffektiv implementering at føre dobbeltregulering, fordi de samme reduktioner blot bliver dyrere at gennemføre uden at have reel klimateffekt, hvis der er 100 pct. lækage.

Den mest omkostningseffektive klimapolitik vil være, at alle lande aftaler at opkræve en ensartet, global pris på CO₂e svarende til de globale skadesomkostninger. Det er den pris som forsøges estimeret med SCC. Et kvotesystem på tværs af sektorer er dog omkostningseffektivt i den forstand, at den minimerer forvridninger i økonomien. Dog er det med et kvotesystem svært at styre prisen, og den kan derfor godt afvige fra niveauet for de globale skadesomkostninger. Derudover vil det være mere omkostningseffektivt at have alle sektorer dækket under ét kvotesystem, da der under forskellige kvotesystemer vil være uens priser på udledninger på tværs af sektorer, hvilket som beskrevet ovenfor er ineffektivt. Det illustreres i et studie af Herby (2023), som finder, at de samfundsøkonomiske omkostninger kunne være omkring 25% lavere, hvis kvotesystemerne ETS1 og ETS2 i EU blev samlet under ét fremfor at have to adskilte kvotesystemer. Dog er kvotesystemerne i EU i grove træk omkostningseffektive og tæt på at være effektiv implementering af en CO₂e-pris.

Alligevel er der betydelig mulighed for at forbedre omkostningseffektiviteten i EUs klimaregulering generelt. I Brøns-Petersen og Andersen (2025) skitseres det, at der i EU også er udfordringer med dobbeltregulering fra EU igennem sektorspecifikke krav, ligesom de samme udledninger fra 2027 vil være omfattet af både nationale reduktionsforpligtelser samt af det nye kvotesystem ETS II. Det bidrager til, at omkostningen ved den grønne omstilling øges, uden at påvirke de samlede udledninger fra EU, hvis der er 100% lækage.

Kyotoprotokollen fra 1997 og Parisaftalen fra 2015 skulle sikre fuld deltagelse, hvor næsten 200 lande begge år indgik en bindende aftale om at reducere udledningen af drivhusgasser³². Barrage og Nordhaus (2024) har fremskrevet CO₂-udledninger og dermed forventet temperaturstigning baseret

³⁰ Danske udledninger, der ikke er omfattet af et kvotesystem, er primært landbrugets udledninger, som bliver pålagt en marginal afgiftssats på 300 kr./ton CO₂e i 2030, stigende til 750 kr./ton CO₂e i 2035. Dog er der mulighed for et bundfradrag på 60 pct., hvilket betyder at de effektive satser bliver hhv. 120 og 300 kr./ton CO₂e. Kilde: <https://lf.dk/media/qqcacwwp/aftale-om-et-groent-danmark.pdf>

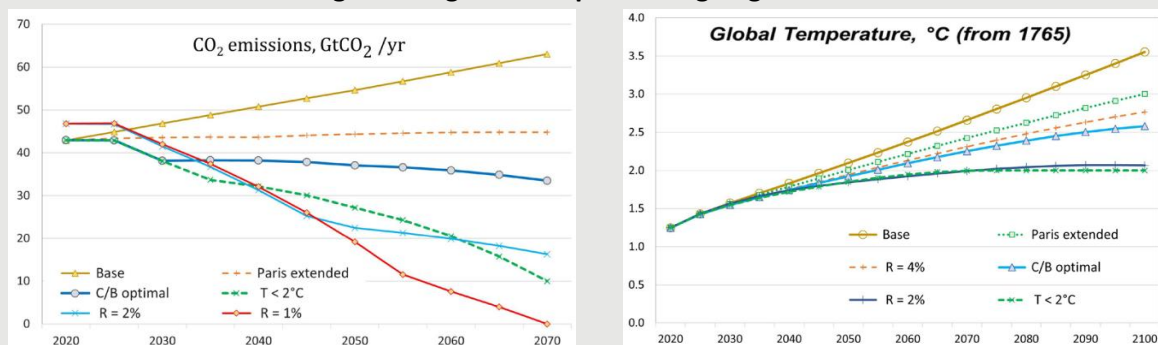
³¹ At der i dag ikke er 100 pct. lækage skyldes en markedsstabilitetsreserve, som annullerer kvoter, hvis der er et stort kvoteoverskud på markedet. Pga. annulleringer og øvrig udvikling forventes det, at lækagen bliver tæt på 100% fra begyndelsen af 2030'erne (De Økonomiske Råds formandskab, 2023)

³² Kilde: <https://www.kefm.dk/eu-og-globalt-samarbejde/parisaftalen>

på et scenarie for at de deltagende lande i Parisaftalen opfylder deres mål for reduktioner i 2030 sat i 2022. Som det fremgår af figur 6 er udledninger og dermed global temperaturstigning i scenariet for landenes løfter under Parisaftalen højere end under det cost-benefit optimale scenarie. Derudover er løfterne om reduktioner ikke tilstrækkelige til at holde den globale temperaturstigning under 2 °C.

Figur 6

Scenarier for CO₂-udledninger samt global temperaturstigning



Note: De forskellige scenarier er beskrevet i afsnittet Scenarier i Barrage og Nordhaus (2024).

Kilde: Figur 1 og 3 i Barrage og Nordhaus (2024).

Selv med stort set fuld deltagelse fra alle lande, kommer de reviderede løfter til drivhusgasreduktioner under Parisaftalen til kort i forhold til de erklærede målsætninger.

Spørgsmålet er, om det er realistisk, at Danmark og EU sætter et tilsvarende mere ambitiøse mål for at nå f.eks. scenariet for en temperaturstigning på 2 °C alligevel.

Hassler m.fl. (2024) undersøger omkostningen ved, at nogle regioner ikke prissætter CO₂, mens andre regioner kompenserer med højere CO₂-afgifter. I en modelkørsel finder de f.eks., at det vil være umuligt at nå et cost-benefit optimalt temperaturmål, hvis ikke Kina indfører en CO₂-afgift. Hassler m.fl. (2024) finder, at det vil være forbundet med meget høje omkostninger eller ligefrem umuligt, at nogle regioner skal kompensere for andre regioners manglende klimapolitik. En succesfuld klimapolitik kræver derfor, at alle regioner i verden deltager. Det vil derfor være svært at kompensere for manglende global handling. Nordhaus (2013) peger ligeledes på, at ineffektiv regulering og begrænset deltagelse kan øge omkostningerne kraftigt og dermed gøre klimamålene uopnåelige.

Begrænsninger i modellerne

Til at modellere en skadesfunktion anvendes grundlæggende to forskellige tilgange: top-down eller bottom-up. Begge tilgange har fordele og ulemper. Ved bottom-up tilgangen estimeres omkostninger ved temperaturstigninger, som f.eks. dødelighed og fejlslagen høst, samt omkostningen ved at afbøde sådanne konsekvenser, som f.eks. at opføre diger for at undgå oversvømmelser. Metoden minder om den, der anvendes i cost-benefit-analyser, dog hvor et stort antal projekter samles. Top-down tilgangen er derimod baseret på den overordnede korrelation mellem variation i temperaturer og output (Brøns-Petersen og Gjedsted, 2021).

Skadesfunktioner med top-down tilgangen kan estimeres ved at identificere hvordan vejret historisk har haft indflydelse på BNP. Et problem ved top-down tilgangen er, at den potentielt lider under

udeladt variabel bias, da andre faktorer end vejret påvirker økonomien, f.eks. kvaliteten af institutioner (Acemoglu m.fl., 2004). Dell m.fl. (2012) og Burke m.fl. (2015) udnytter årlig variation i vejrdato til at undersøge sammenhængen mellem vejr og BNP over tid. Ved at udnytte variation i vejret forsøges dermed at undgå et problem med udeladt variabel bias. I studierne antages det, at effekterne af vejr og klima er identiske.

Dell m.fl. (2014) beskriver udfordringerne ved top-down tilgangen, når man ønsker at udlede kortsigtseffekter til langsigtseffekter. Udsving i vejret over kortere perioder er ikke nødvendigvis sammenlignelig med langsigtede ændringer i vejret, som følge af klimaforandringer. Tol (2019) beskriver det som, at klima er det man forventer, mens vejr er det du får. På længere sigt vil tilpasning formentlig spille en større rolle end på kort sigt. Man tilpasser sig formentlig ikke med omkostningstunge teknologier til vejrsving i et enkelt år, hvis man ikke forventer at vejrhændelsen vil være tilbagevendende. Ved top-down tilgangen er det ligeledes ikke muligt at udlede generelle ligevægtseffekter. Langsigtede klimaskader kan betyde, at arbejdskraft og kapital flytter, hvilket kan reducere de langsigtede effekter af klimaforandringer sammenlignet med de kortsigtede effekter. En metode, der undersøger den økonomiske effekt af kortsigtede vejrændringer, risikerer derfor at overvurdere skadesomkostningerne³³. Metoden kan heller ikke opfange effekten af vejrændringer, der i et enkelt år har lille eller ingen økonomisk effekt, men som ved permanente vejrændringer kan medføre økonomiske omkostninger. Har man fyldte vandreservoir vil en kortere periode med tørke ikke have store konsekvenser, hvorimod længere perioder med tørke kan dræne vandreservoiret og medføre store omkostninger. Dette kan trække i retning af, at omkostningerne undervurderes (Dell m.fl., 2014).

Top-down tilgangen kan ligeledes ikke opfange ikke-markedsmæssige skader og omkostninger ved vippepunkter (Howard og Sterner, 2017). Når man blot anvender udsving i vejret til at estimere en skadesfunktion, er man begrænset til, blot at kunne opfange kortsigtede-effekter. Samlet set må det forventes, at omkostningerne overvurderes i top-down tilgangen.

Bottom-up tilgangen anvendes typisk i IAM'er til at estimere skadesfunktionen. Det gøres bl.a. ved at samle skadesestimater for regionale sektorer mm. På den måde kan tilgangen opfange både markedsmæssige, ikke-markedsmæssige og katastrofale skader fra klimaforandringer. Tilgangen kritiseres dog for at udelade betydelige effekter og generelle ligevægtseffekter (Howard og Sterner, 2017). Dette kan pege i retning af, at bottom-up tilgangen undervurderer de samlede skader ved klimaforandringer.

Estimering af skadesfunktioner er uanset metode behæftet med betydelig usikkerhed. Howard og Sterner (2017) argumenterer for, at top-down tilgangen stadig er nødvendig, så længe bottom-up tilgangen ikke er færdigudviklet. Barrage og Nordhaus (2024) anvender skadesestimater identificeret med både top-down og bottom-up tilgangen (Barrage og Nordhaus, 2023). Det samme gør Howard og Sterner (2017), selv om det indebærer et bias, hvis metoden generelt overvurderer omkostningerne (Tol, 2018).

En anden begrænsning i IAM'er er, at de indeholder en forenklet model for klimasystemet. Nogle forfattere kritiserer derfor IAM'er for bl.a. ikke tilstrækkeligt at indkapsle kompleksiteten i jordens klimasystemer. IAM'er kan formentlig ikke repræsentere alle aspekter af klimasystemet korrekt. Det

³³ De Økonomiske Råds formandskab (2023) finder ligeledes markant lavere omkostning ved tilpasning end forventede klimaskader i danske kystområder.

kan f.eks. være ift. til klimasensitivitet, dvs. hvor følsom den globale temperatur er for drivhusgasser i atmosfæren. Det skyldes i høj grad, at der er begrænset viden om klimasystemet og dermed betydelig usikkerhed forbundet med klimasensitivitet (Nordhaus, 2013). Barrage og Nordhaus (2024) har baseret på anbefalinger fra Dietz, van der Ploeg, m.fl. (2021) opdateret kulstof- og klimakredsløb i DICE-2023. Opdateringen løser problemerne i tidligere versioner af DICE, hvor der var for stor træghed i global opvarmning som følge af drivhusgasudledninger.

Pindyck (2013), (2017) mener, at IAM'er er ubrugelige og peger på de fire væsentligste årsager dertil. Først beskriver Pindyck, at nogle input i modellen er arbitrære. F.eks. mener Pindyck, at diskonteringsraten er arbitrær, fordi der ikke er konsensus blandt økonomer om, hvad den korrekte diskonteringsrente er og at forskellige diskonteringsrenter vil have stor indflydelse på den estimerede SCC. For det andet peger Pindyck på, at der ikke er meget information om klimasensitivitet, dvs. hvor meget temperaturen stiger som følge af en fordobling af koncentrationen af CO₂ i atmosfæren. Klimasensitivitet indgår som et input i IAM'er. For det tredje beskriver Pindyck, at skadesfunktionen, der anvendes i IAM'er, er arbitrært udledt, da der ikke findes teori og data, som den kan udledes fra. Sidst peger Pindyck på, at IAM'er ikke kan sige noget om sandsynligheden eller den forventede effekt af f.eks. meget høje temperaturstigninger. Pindyck mener, at sandsynligheden for en klimakatastrofe bør være den drivende kraft bag en streng klimapolitik.

Grundlæggende kritiserer Pindyck, at udviklere af IAM'er oversælger validiteten af modellerne, som kan betyde, at beslutningstagere misledes. Pindyck foreslår, at et alternativ til IAM'er kan være at anvende en mere simpel model, der fokuserer på katastrofale hændelser, hvilket vil simplificere estimeringen af SCC. Til det skal der knyttes sandsynligheder til en række katastrofale hændelser, som økonomer og klimaforskere vurderer rimelige. Derfra kan man beregne nutidsværdien af fordelene ved helt at undgå eller reducere sandsynligheden for katastrofale hændelser. At beregne nutidsværdien kræver også et valg om niveau for diskonteringsrenten. Det andet skridt i estimering af SCC vil være at undersøge, hvor stor reduktion i årlig CO₂-udledning det vil kræve at undgå, eller markant reducere risikoen for, en katastrofal hændelse. Årlige reduktioner aggregeres derefter til en samlet reduktion for en given periode³⁴. Herfra beregnes et gennemsnitligt mål for SCC. Pindyck mener, at gevinster ved reduktion i CO₂-udledninger bedst estimeres med ekspertvurderinger.

Pindyck (2019) estimerer en gennemsnitlig SCC med ovenstående metode. Her finder Pindyck (2019), baseret på eksperter med høj tillid i deres svar, en gennemsnitlig SCC på \$80 til \$100³⁵ per ton CO₂. For alle respondenter estimeres SCC til mellem \$80 til \$300 per ton CO₂. Pindyck (2019) peger selv på, at metoden til at estimere SCC har en række mangler og at både fortegn og omfang af bias er uklar.

Nordhaus (2014) finder kritikken af Pindyck (2013) om de empiriske svagheder ved IAM'er relevant. Nordhaus (2014) mener dog, at konklusionen om at IAM'er derfor er ubrugelige grundlæggende er misforstået. F.eks. fremhæver Nordhaus (2014), at selvom der er uenighed om, hvad den "rigtige" diskonteringsrente bør være, er det ikke et argument for at undlade at diskontere SCC. Derimod illustrerer Nordhaus (2014), hvordan SCC påvirkes af forskellige diskonteringsrenter. Nordhaus (2014)

³⁴ Det antages, at reduktionsomkostninger er konstante over tid (Pindyck, 2019).

³⁵ Pindyck (2019) angiver ikke i hvilket års priser SCC er opgjort. Spørgeskemaet, der anvendes til at estimere SCC, blev sendt ud i 2016. Antages det, at SCC er opgjort i 2016\$ for udledninger i 2016, svarer SCC for alle respondenter til omkring mellem 1.000 og 3.750 DKK for udledninger i 2025 (2024-priser). For eksperter med høj tillid estimeres SCC til mellem 1.000 og 1.250 DKK for udledninger i 2025 (2024-priser). Omregningen er foretaget på samme måde som beskrevet i afsnittet Social cost of carbon.

er enig i, at IAM'er ikke kan sige noget om sandsynligheden for katastrofale hændelser. Men det betyder ikke, at IAM'er ignorerer sandsynligheden for sådanne katastrofale hændelser. F.eks. inkluderer DICE-modellen en justering for ikke-monetiserede og potentielt katastrofale skader. Ligeledes inkluderer Barrage og Nordhaus (2024) i DICE-2023 et skadesestimat for at tage højde for vippepunkter baseret på tilgængelig viden. Problemet med sandsynligheden for katastrofale hændelser er ikke IAM'er, men derimod, at den videnskabelige forståelse af sandsynlige forløb og virkninger af katastrofale hændelser er mangelfuld. Det er samme problem, når det kommer til klimasensitivitet (Nordhaus, 2014). I fortolkningen af resultaterne fra IAM'er bør man derfor være sig disse begrænsninger bevidst.

Howard og Sterner (2017) anerkender bl.a. Pindyck (2013)s position om, at det er så svært, at vurdere skader fra hidtil usete klimaforandringer, at man kan betragte skaderne som fundamentalt ukendte. Dog mener Howard og Sterner (2017) alligevel, at det er værd at forsøge at kvantificere skaderne på trods af store udfordringer.

Nordhaus (2014) beskriver, at IAM'er er anvendelige til at håndtere meget komplekse, ikke-lineære, dynamiske og usikre systemer, som vil være umulige at løse uden modellering. Med modellering er det muligt at foretage analyser af påvirkning af forskellige faktorer. F.eks. er det muligt systematisk at fremhæve kritiske spørgsmål, f.eks. om diskontering og skader. Derfor er IAM'er og SCC stadig relevante, selvom de er forbundet med en række usikkerheder.

Klimaskader rammer ulige i verden

Konsekvenserne af klimaforandringer rammer ikke ens i verdens lande. Ifølge Tol (2018) er udviklingslande mere sårbare over for klimaforandringer af tre årsager. For det første er landbrug og vandressourcer vigtigere for udviklingslandes økonomier, hvilket gør dem mere følsomme over for vejrændringer, modsat rigere lande, hvis økonomier i højere grad består af mindre vejrfølsomme sektorer som fremstilling og service. For det andet er fattige lande ofte varme, hvor økosystemer er tæt på deres grænser, og der globalt ikke er erfaring med tilpasning til ekstreme temperaturer. Det er i modsætning til køligere lande, der kan lære af varmere regioner. For det tredje har fattige lande begrænset tilpasningsevne grundet manglende ressourcer, teknologi og institutionel kapacitet, som er nødvendige for f.eks. aircondition, malariamedicin, afgrødeforsikringer, kunstvanding og kystbeskyttelse (Tol, 2018).

Dertil kommer, at de industrialiserede lande historisk har udledt flest drivhusgasser, som har været en betydelig faktor for udviklingen af velstandsniveauet. Stern og Kander (2012) finder med en udvidelse af Solows vækstmodel, at udbygningen af energiforsyning var den vigtigste faktor til at forklare væksten i Sverige indtil første halvdel af det 20. århundrede. Forfatterne finder, at hvis det effektive energiforbrug var holdt konstant på år 1800 niveau ville det betyde, at BNP per indbygger i år 2000 ville være en tredjedel af niveauet i år 1800.

Og det er ikke kun de vestlige lande, der har draget fordel af industrialisering. Også udviklingslande har oplevet stigninger i levestandarder ved øget energiforbrug, herunder af fossile brændstoffer (Arora og Kaur, 2020; Anyanwu og Kur, 2024).

Konvergenshypotesen kan forklare, hvorfor levestandarden i stort set alle lande er løftet, med undtagelse af steder hvor institutioner har særligt lav kvalitet. Konvergenshypotesen går på, at velstanden i lavindkomstlande kan vokse hurtigere end i højindkomstlande, fordi de kan indhente

teknologier, kapital og viden fra rigere lande. Konvergens er dog betinget af, at de fattige lande har lignende strukturelle karakteristika som de rige lande (Barro, 1991). Kremer m.fl. (2021) finder, at der siden slutningen af 1980'erne har været konvergens i indkomster på tværs af lande, som kan skyldes at politikker, institutioner og kultur i samme periode har nærmet sig de rige landes.

Et relevant spørgsmål er, hvordan spredningen af klimaskader bedst håndteres. Det kan være ved at reducere klimaforandringer, lave klimatilpasning og dermed øge resistensen i de udsatte områder, eller yde kompensation til de mest udsatte områder.

At reducere virkningerne fra klimaforandringerne er i fokus globalt, men med de nuværende prognoser vil de mest udsatte lande stadig mærke konsekvenserne af klimaforandringer. At reducere udledninger af drivhusgasser er selvfølgelig en vigtig del af at reducere påvirkningen af klimaforandringer, men kan ikke stå alene.

Klimatilpasning er en oplagt måde at skabe resistens overfor klimaforandringer. Men som Tol (2018) peger på, er der mange årsager til at udviklingslande har sværere ved at modstå klimaforandringer, hvoraf begrænsede ressourcer spiller en vigtig rolle. Mange studier har undersøgt, hvordan velstand fremmes. Acemoglu m.fl. (2004)³⁶ finder, at den grundlæggende årsag til forskelle i økonomisk udvikling er forskelle i institutioner. Såkaldte "inklusive" systemer, som liberale demokratier med privat ejendomsret, retsbeskyttelse og konkurrence om den politiske magt er overlegne til at skabe velstand. Det står i modsætning til såkaldte "ekstraktive" systemer, hvor en elite monopoliserer den politiske magt og anvender den til at "ekstrahere" ressourcer fra resten af befolkningen (Nobel Prize Outreach AB, 2024).

Og gode institutioner spiller en betydelig rolle for nationers velstand, også i sammenligning med klimaskader. Brøns-Petersen og Gjedsted (2021) finder, at både global opvarmning og forringelser i institutioners kvalitet påvirker velstanden negativt, men at institutioners kvalitet har større indflydelse på velstanden end klimaforandringer har. Derfor bør klimapolitik ikke ske på bekostning af institutionel kvalitet.

Det vigtigste for de mest udsatte lande vil altså være, at sikre gode institutioner, der kan øge velstanden og dermed give mulighed for tilpasning til klimaforandringer. Hvordan man sikrer gode institutioner, er selvfølgelig ikke ligetil, men det også er et emne, som Acemoglu, Johnson og Robinson har behandlet i deres forskning. Bl.a. beskriver Acemoglu og Robinson (2000), at mange vestlige lande valgte at gennemføre politiske reformer, der udvidede stemmeretten i det. 19. århundrede, som en strategisk beslutning af den politiske elite for at forhindre social uro og revolution. For en nærmere uddybning af forskningen henvises til Nobel Prize Outreach AB (2024).

Selvom kompensation fra velstående lande kan synes nødvendigt for at afhjælpe udviklingslandes udfordringer på kort sigt, viser forskningen, at udviklingsbistand ofte har begrænsede eller endda negative effekter. Paldam og Doucouliagos (2015) konkluderer, baseret på omfattende empiriske studier, at udviklingsbistand har minimal positiv indvirkning. Tilsvarende påpeger Deaton (2013)³⁷, at udviklingsbistand gennemgående har negative effekter, når dens politiske bivirkninger inddrages. Udviklingsbistanden skaber en alternativ indtægtskilde for magteliter i modtagerlandene, hvilket reducerer deres incitament til at føre politikker, der øger velstanden for den brede befolkning – en

³⁶ Daron Acemoglu, Simon Johnson og James A. Robinson modtog i 2024 Nobelprisen i økonomi for deres forskning indenfor, hvad der påvirker landes økonomiske velstand på lang sigt.

³⁷ Angus Deaton modtog Nobelprisen i økonomi for udviklingsstudier i 2015.

velstand, der ellers kunne beskattes. Bistanden kan altså bidrage til at den politiske elite bevarer sit "ekstraktive" system.

Så selv hvis man mener, at de mest velstillede lande skal yde klimabistand til de mest udsatte lande, er der ingen troværdig kanal til det.

Konklusion

At reducere drivhusgasudledninger vil være en gevinst for samfundet. Men det kommer også med en omkostning at reducere udledningerne. Til at undersøge samspillet mellem klimaet og samfundet kan *Integrated Assessment Models (IAMs)* fra klimaøkonomien anvendes. Disse bruges til at analysere, hvordan menneskelig velfærd påvirkes af klimaforandringer. Modellerne kan bruges til politikoptimering og politikevaluering.

I notatet introduceres to metastudier af Howard og Sterner (2017) samt Nordhaus og Moffat (2017). Studierne estimerer skadesfunktioner ved klimaforandringer. Howard og Sterner (2017) præsenterer ligeledes et estimat for *Social Cost of Carbon (SCC)*, som er beregnet med DICE-2013R. Skadesfunktionen i Nordhaus og Moffat (2017) er senest opdateret og udvidet i Barrage og Nordhaus (2024). Ligeledes præsenteres i Barrage og Nordhaus (2024) et estimat for SCC med skadesfunktionen fra Howard og Sterner (2017), som beregnes med den seneste version af DICE – DICE-2023. Resultaterne, baseret på de to skadesfunktioner, fra Barrage og Nordhaus (2024) præsenteres derfor her.

Barrage og Nordhaus (2024) estimerer skadevirkningen ved en global temperaturstigning på 3 °C til 3,1% af globalt output. Estimatet dækker over opdaterede resultater fra metastudiet i Nordhaus og Moffat (2017), en komponent til at tage højde for vippepunkter samt en komponent, der skal tage højde for usikkerheder og udeladte skadevirkninger.

Howard og Sterner (2017) præsenterer en række estimater for skadesfunktionen, men finder med deres foretrukne regression for ikke-katastrofale skadevirkninger, at en temperaturstigning på 3 °C medfører skadevirkninger svarende til mellem 7% og 8% af globalt output og mellem 9% og 10% når der tages højde for katastrofale risici. Til at beregne bl.a. SCC baseret på Howard og Sterner (2017)s skadesestimater anvender Barrage og Nordhaus (2024), hvad de kalder for en rimelig middelvej af Howard og Sterner (2017)s foretrukne estimater: et skadesestimat på 9% ved en temperaturstigning på 3 °C.

Med estimater for skadevirkninger ved global opvarmning og reduktionsomkostninger kan SCC estimeres. SCC giver en indikation af hvad prisen på udledning af drivhusgasser bør være givet et ønsket fremtidsscenarie, når omkostninger og gevinster vejes op mod hinanden.

Barrage og Nordhaus (2024) estimerer SCC baseret på skadesfunktionen i Nordhaus og Moffat (2017) i det cost-benefit optimale scenarie til omkring 450 kr. per ton CO₂e for udledninger i 2025. Med skadesfunktionen fra Howard og Sterner (2017) estimerer Barrage og Nordhaus (2024) en SCC på omkring 1.100 kr. per ton CO₂e.

Barrage og Nordhaus (2024) beregner, at temperaturstigningen under det cost-benefit optimale scenarie vil være 2,6 °C i år 2100. Tilsvarende estimeres den optimale temperaturstigning med

skadesfunktionen fra Howard og Sterner (2017) til 1,9 °C i år 2100. Paris-aftalens målsætning om at sigte efter en temperaturstigning på helst 1,5 °C lever i DICE-2023 derfor ikke op til at være et cost-benefit-optimalt scenarie.

Med klimaskader i størrelsesordener som Howard og Sterner (2017) og Barrage og Nordhaus (2024) præsenterer, må velstandsniveauet i år 2100 forventes være markant højere end i dag, selv med lave vækstrater. Antages der en årlig per capita vækst på 2%, forventes velstandsniveauet med klimaforandringer at være omkring 4,5 gange højere end i dag. Er vækstraten derimod kun 1% årligt, vil velstandsniveauet i år 2100 stadig være det dobbelte af i dag, selv med klimaforandringer.

I den klimaøkonomiske litteratur diskuteres antagelserne, der ligger til grund for de ovenfor præsenterede resultater. Diskonteringsrenten har stor indflydelse på, hvad SCC estimeres til. Som Finansministeriet (2021) peger på, er det ikke muligt at observere, hvad den samfundsøkonomiske diskonteringsrente bør være. IAM'er er ligeledes begrænset af ikke at kunne indkapsle kompleksiteten i jordens klimasystemer fuldstændig. Det skyldes både tekniske årsager, men også grundet begrænset viden om klimasystemet.

Af notatets gennemgang er det ikke muligt entydigt at konkludere, hvordan velfærden påvirkes af klimaforandringer. En konklusion, der dog kan udledes er, at selvom omkostningerne forbundet med globale temperaturstigninger er mærkbare, så tyder det ikke på at global opvarmning i dette århundrede vil være altødelæggende for verdens velstand.

Der hersker dog mindre tvivl om, at prisen på drivhusgasudledninger bør være relativt høj og er forbundet med stor usikkerhed. Dermed understreges vigtigheden af omkostningseffektiv klimapolitik. De præsenterede resultater hviler på antagelser om, at alle lande reducerer deres udledninger med omkostningseffektive instrumenter, som er en ensartet pris på udledninger. I EU er der tæt på omkostningseffektiv regulering af drivhusgasudledninger med kvotesystemer. Klimapolitik i Danmark føres stort set uden hensyn til klimapolitikken i EU. Det betyder, at der i Danmark er dobbeltregulering, der øger prisen på reduktioner uden at føre til reel klimateffekt. Tilsvarende er der også dobbeltregulering i EUs klimapolitik. Det vil øge den samlede omkostning ved grøn omstilling. Og som det fremgår af dette notat er omkostningerne ved grøn omstilling i forvejen betydelige, selv ved anvendelse af omkostningseffektive tiltag.

Både Hassler m.fl. (2024) og Nordhaus (2013) understreger vigtigheden af, at alle lande reducerer udledninger med omkostningseffektive tiltag. Bl.a. peger Hassler m.fl. (2024), at det vil være ekstremt dyrt eller ligefrem umuligt at nogle regioner skal kompensere for andre regioners manglende klimapolitik.

Klimapolitikken i Danmark og EU bør fokusere på omkostningseffektive instrumenter, som kvotesystemer og afgifter samt at undgå dobbeltregulering. Derudover er det væsentligt, at EU og Danmark arbejder for global deltagelse i reduktion af drivhusgasser.

Litteratur

- Acemoglu, Daron, Simon Johnson, og James Robinson. 2004. "Institutions As The Fundamental Cause Of Long-Run Growth". *National Bureau of Economic Research*, nr. Working Paper 10481. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w10481/w10481.pdf.
- Acemoglu, Daron, og James A. Robinson. 2000. "Why Did the West Extend the Franchise? Democracy, Inequality, and Growth in Historical Perspective". *The Quarterly Journal of Economics* 115 (4):1167–99. <https://doi.org/10.1162/003355300555042>.
- Al-mulali, Usama. 2014. "GDP growth – energy consumption relationship: Revisited". *International Journal of Energy Sector Management* 8 (3):356–79. <https://doi.org/10.1108/IJESM-04-2013-0004>.
- Anyanwu, Ogochukwu Christiana, og Keghter Kelvin Kur. 2024. "Impact of Energy Consumption on Industrial Sector Performance". *Sage Open* 14 (4). <https://doi.org/10.1177/21582440241298856>.
- Arora, Rochna, og Dr. Baljit Kaur. 2020. "Fossil fuel consumption, economic growth and CO2 emissions. Causality evinced from the BRICS world". *Theoretical and Applied Economics* 4 (625):131–42.
- Arrow, Kenneth J. 1995. "Intergenerational Equity and the Rate of Discount in Long-Term Social Investment". IEA World Congress.
- Barrage, Lint, og William D. Nordhaus. 2023a. "Background Note on Damages".
- . 2023b. "Supplemental Materials: Statistical and Methods. Appendices to the DICE-2023 Model".
- . 2024. "Policies, projections, and the social cost of carbon: Results from the DICE-2023 model". *PNAS Sustainability Science*. <https://doi.org/10.1073/pnas.2312030121>.
- Barro, Robert J. 1974. "Are Government Bonds Net Wealth?" *Journal of Political Economy* 82 (6):1095–1117.
- . 1991. "Economic Growth in a Cross Section of Countries". *The Quarterly Journal of Economics* 106 (2):407–43. <https://doi.org/10.2307/2937943>.
- Becker, Gary S., Kevin Murphy, og Robert Topel. 2011. "On the Economics of Climate Policy". *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy* 10 (2). <https://doi.org/10.2202/1935-1682.2854>.
- Brøns-Petersen, Otto. 2024. "Hvad bør landbrugets drivhusgasser koste?" CEPOS. <https://cepos.dk/artikler/hvad-bor-landbrugets-drivhusgasser-koste/>.
- Brøns-Petersen, Otto, og Line Andersen. 2025. "How should the ideal EU climate policy be designed?" I *Energising Europe - A market approach to clean and abundant energy*, redigeret af Carlo Stagnaro og Marcin Zieliński. EPICENTER. <https://www.epicenternetwork.eu/publications/energising-europe-market-approach-to-clean-and-abundant-energy/>.
- Brøns-Petersen, Otto, og Søren Havn Gjedsted. 2021. "Climate change and institutional change: what is the relative importance for economic performance?" *Environmental Economics and Policy Studies* 23:333–60. <https://doi.org/10.1007/s10018-020-00290-7>.
- Burke, Marshall, Solomon M. Hsiang, og Edward Miguel. 2015. "Global non-linear effect of temperature on economic production". *Nature*, nr. 527:235–39. <https://doi.org/10.1038/nature15725>.
- De Økonomiske Råds formandskab. 2023. "Økonomi og Miljø 2023". https://dors.dk/files/media/WEB%201053528_M23%20Endelig%20rapport.pdf.
- Deaton, Angus. 2013. *The Great Escape: Health, Wealth, and the Origins of Inequality*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt3fgxbm>.
- Dell, Melissa, Benjamin F. Jones, og Benjamin A. Olken. 2012. "Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century". *American Economic Journal: Macroeconomics* 4 (3):66–95. <http://dx.doi.org/10.1257/mac.4.3.66>.

- . 2014. "What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature". *Journal of Economic Literature* 53 (3):740–98. <http://dx.doi.org/10.1257/jel.52.3.740>.
- Dietz, Simon, Christian Gollier, og Louise Kessler. 2018. "The climate beta". *Journal of Environmental Economics and Management* 87:258–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2017.07.005>.
- Dietz, Simon, Frederick van der Ploeg, Armon Rezai, og Frank Venmans. 2021. "Are Economists Getting Climate Dynamics Right and Does It Matter?" *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 8 (5):895–921. <https://doi.org/10.1086/713977>.
- Dietz, Simon, James Rising, Thomas Stoerk, og Gernot Wagner. 2021. "Economic impacts of tipping points in the climate system". *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS* 118 (34):1–9. <https://doi.org/10.1073/pnas.2103081118>.
- Energistyrelsen. 2024. "Analyseforudsætninger til Energinet 2024 – Brændsels- og kvotepriser". Baggrundsnotat.
- Finansministeriet. 2021. "Dokumentationsnotat - den samfundsøkonomiske diskonteringsrente". https://fm.dk/media/eywl4qvh/dokumentationsnotat-for-den-samfundsoekonomiske-diskonteringsrente_7-januar-2021.pdf.
- Hassler, John, Per Krusell, og Conny Olovsson. 2024. "The macroeconomics of climate change: Starting points, tentative results, and a way forward". Working Paper. Peterson Institute for International Economics.
- Herby, Jonas. 2023. "Store samfundsøkonomiske gevinster ved at samle CO₂-udledninger fra vejtransport og bygninger under det nuværende kvotesystem". CEPOS. <https://cepos.dk/artikler/store-samfundsokonomiske-gevinster-ved-at-samle-co2-udledninger-fra-vejtransport-og-bygninger-under-det-nuvaerende-kvotesystem/>.
- Howard, Peter H., og Thomas Sterner. 2017. "Few and Not So Far Between: A Meta-analysis of Climate Damage Estimates". *Environmental and Resource Economics* 68:197–225.
- . 2022. "Between Two Worlds: Methodological and Subjective Differences in Climate Impact Meta-Analyses". Working Paper.
- International Energy Agency. 2024. "World Energy Outlook 2024". <https://iea.blob.core.windows.net/assets/04f06925-a5f4-443d-8f1a-6daa31305aee/WorldEnergyOutlook2024.pdf>.
- IPCC. 2023. "Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", 35–115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.
- Klimarådet. 2025. "Statusrapport 2025". København. https://klimaraadet.dk/sites/default/files/node/field_file/Klimaraadet_statusrapport25_FIN_AL_ONLINE.pdf.
- Kremer, Michael, Jack Willis, og Yang You. 2021. "Converging to Convergence". *NBER Working Paper Series*, nr. 29484. <http://www.nber.org/papers/w29484>.
- Lee, Chien-Chiang. 2005. "Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis". *Energy Economics* 27 (3):415–27. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.03.003>.
- Martin, Ian W. R., og Robert S. Pindyck. 2015. "Averting Catastrophes: The Strange Economics of Scylla and Charybdis". *The American Economic Review*, 105 (10):2947–85. <https://doi.org/10.1257/aer.20140806>.
- Nobel Prize Outreach AB. 2018. "Advanced information". NobelPrize.org. <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/advanced-information/>.
- . 2024. "Advanced information". <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2024/advanced-information/>.
- Nordhaus, William D. 1994. "Expert Opinion on Climate Change". *American Science* 82 (1):45–51.
- . 2007. "A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change". *Journal of Economic Literature* 45 (3):686–702.
- . 2009. "An Analysis of the Dismal Theorem". *Cowles Foundation Discussion Paper*, nr. 1686.

- . 2012. "Economic Policy in the Face of Severe Tail Events". *Journal of Public Economic Theory* 14 (2):197–219. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9779.2011.01544.x>.
- . 2013. *The climate casino: risk, uncertainty, and economics for a warming world*. New Haven: Yale University.
- . 2014. "Estimates of the Social Cost of Carbon: Concepts and Results from the DICE-2013R Model and Alternative Approaches". *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 1 (1). <https://doi.org/10.1086/676035>.
- . 2018. "Climate change: The Ultimate Challenge for Economics". Prize Lecture.
- Nordhaus, William D., og Andrew Moffat. 2017. "A Survey of Global Impacts of Climate Change: Replication, Survey Methods, and a Statistical Analysis". *NBER Working Paper*, nr. 23646. <https://doi.org/https://doi.org/10.3386/w23646>.
- Nordhaus, William D., og Paul Sztorc. 2013. "DICE 2013R: Introduction and User's Manual". <http://acdc2007.free.fr/dicemanual2013.pdf>.
- Paldam, Martin, og Hristos Doucouliagos. 2015. "Finally a breakthrough? The recent rise in the size of the estimates of aid effectiveness". I *Handbook on the Economics of Foreign Aid*, 325–49. Edward Elgar Publishing. <https://pure.au.dk/portal/en/publications/finally-a-breakthrough-the-recent-rise-in-the-size-of-the-estimat-2>.
- Pigou, Arthur Cecil. 1920. *The Economics of Welfare*. Macmillan.
- Pindyck, R. S. 2013. "Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?" *Journal of Economic Literature* 51 (3):860–72. <https://doi.org/10.1257/jel.51.3.860>.
- . 2017. "The Use and Misuse of Models for Climate Policy". *Review of Environmental Economics and Policy* 11 (1):100–114. <https://doi.org/10.1093/reep/rew012>.
- . 2019. "The social cost of carbon revisited". *Environmental Economics and Management* 94:140–60. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.02.003>.
- Piontek, Franziska, Laurent Drouet, Johannes Emmerling, Tom Kompas, Aurélie Méjean, Christian Otto, James Rising, Bjoern Soergel, Nicolas Taconet, og Massimo Tavoni. 2021. "Integrated perspective on translating biophysical to economic impacts of climate change". *Nature Climate Change* 11 (7):563–72. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01065-y>.
- Richardson, Katherine. 2021. "tipping point". Lex.dk. Den Store Danske. 2021. https://denstoredanske.lex.dk/tipping_point.
- Stern, David, og Astrid Kander. 2012. "The Role of Energy in the Industrial Revolution and Modern Economic Growth". *The Energy Journal* 33 (3):125–52.
- Stern, Nicholas. 2006. "The Economics of Climate Change: The Stern Review".
- Tol, Richard S. J. 2018. "The Economic Impacts of Climate Change". *Review of Environmental Economics and Policy* 12 (1):4–25. <https://doi.org/doi:10.1093/reep/rex027>.
- . 2019. "A social cost of carbon for (almost) every country". *Energy Economics*, nr. 83:555–66. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.07.006>.
- . 2023a. "Costs and Benefits of the Paris Climate Targets". *Climate Change Economics* 14 (4):18. <https://dx.doi.org/10.1142/S2010007823400031>.
- . 2023b. "Social cost of carbon estimates have increased over time". *Nature Climate Change* 13:532–36.
- . 2024. "Trends and biases in the social cost of carbon".
- United Nations Environment Programme. 2024. "Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments". Nairobi. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024>.
- Weitzman, Martin L. 2009. "In modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change". *The Review of Economics and Statistics* 91 (1):1–19.
- . 2014. "Fat Tails and the Social Cost of Carbon". *American Economic Review* 104 (5):544–46. <https://doi.org/10.1257/aer.104.5.544>.
- World Bank, og med mindre bearbejdning af Our World in Data. 2023. "GDP per capita – World Bank – In constant 2017 international \$". https://ourworldindata.org/grapher/gdp-per-capita-worldbank?tab=chart&country=~OWID_WRL.

