

Nobelprisen i økonomi 2018: Økonomisk vækst og klimaforandringer

Temanummer: Finansministeriet som vagt- og overhund

Hvad er drivkræfterne bag den økonomiske vækst, og hvordan spiller væksten sammen med den globale opvarmning? Nobelprisen i økonomi 2018 blev delt mellem to makroøkonomer, der har forsket i disse afgørende spørgsmål for den økonomiske videnskab. Paul M. Romer modtog prisen for sit bidrag til teorien om endogen vækst, og William D. Nordhaus for sin pionérindsats inden for klimaøkonomi. Begge forskere har bygget videre på indsigter opnået af tidligere Nobelprisvindere.

På skuldrene af fortidens kæmper

Både Romers og Nordhaus' forskning kan ses som en videreudvikling af Robert Solows neoklassiske vækstteori, der indbragte ham Nobelprisen i økonomi i 1987. Ifølge Solow (1956) drives væksten i produktion og indkomst per capita af kapitalakkumulation og eksogene tekniske fremskridt, der antages at øge totalfaktorproduktiviteten med en konstant relativ rate per år. På vejen mod økonomiens steady state aftager væksten i investeringerne, i takt med at kapitalens grænseprodukt falder som følge af stigende kapitalintensitet i produktionen, og i steady state er det alene de fortsatte eksogene tekniske fremskridt, der sikrer vedvarende vækst i produktionen per indbygger. Den langsigtede vækstrate er således uforklaret i Solows model.

I Solow-modellen behandles opsparingskvoten som en eksogen konstant. Koopmans (1965) endogeniserede opsparingskvoten ved at antage, at husholdningerne optimerer allokeringen af forbruget over tid ved at maksimere en "livstidsnyttefunktion" i overensstemmelse med Frank Ramseys berømte "matematiske" opsparringsteori (Ramsey, 1928). Koopmans' Ramsey-model for økonomisk vækst med eksogene tekniske fremskridt er udgangspunktet for både Romers og Nordhaus' arbejder. Da Ramsey-modellen antager fuldkommen konkurrence og ser bort fra eksternaliteter, implicerer modellen, at markedsökonomiens vækstforløb er samfundsøkonomisk optimalt, forudsat at "samfundsplanlæggeren" tilstræber at maksimere husholdningernes velfærd og accepterer den afvejning mellem nutidig og fremtidig velfærd, der følger af forbrugernes tidspreferencerate.

Romer og Nordhaus analyserer de komplikationer og politikudfordringer, der opstår, når man introducerer vigtige markedsimperfektioner i modeller for økonomisk vækst. Nordhaus fokuserer på klimaeffekten af CO₂-udledningerne fra afbrænding af fossile brændsler og den deraf følgende skadevirkning på økonomien, mens Romer fokuserer på spill-over-effekterne af de enkelte



**PETER BIRCH
SØRENSEN**

Professor,
Økonomisk Institut,
Københavns
Universitet

virksomheders investering i forskning og udvikling (FoU). Nordhaus fastholder Ramsey-modellens antagelser om fuldkommen konkurrence og eksogene tekniske fremskridt. Romer ophæver derimod forudsætningen om fuldkommen konkurrence og endogeniserer de tekniske fremskridt, men inddrager til gengæld ikke miljøeksternaliteten via CO₂-udledninger. Man kan se Romer's forskning som en teoretisk underbygning af den vigtige rolle, som FoU har spillet i de vestlige landes økonomiske udvikling, og som blev dokumenteret af den økonomiske historiker Douglas North (1981), der i 1993 modtog Nobelprisen i økonomi.

Paul Romer's teori om endogen vækst

Paul Romers centrale teoretiske bidrag blev fremlagt i Romer (1986) og Romer (1990). I hans vision af den økonomiske vækstproces er akkumulationen af "ideer" den grundlæggende kilde til langsigtet vækst. En ide kan være et design til et nyt produkt såsom en kode til et computerprogram. En afgørende egenskab ved ideer er, at udnyttelsen af dem er ikke-rivaliserende, dvs. en aktørs udnyttelse af en ide til produktive formål udelukker teknisk set ikke, at andre aktører ligeledes kan udnytte den samme ide. Endvidere antager Romer, at en større akkumuleret beholdning af ideer gør det nemmere at udvikle nye ideer. Vi kan således udnytte eksisterende viden til at skabe ny viden. Nye ideer kommer dog ikke af sig selv; det kræver typisk en målrettet ressourceindsats at udvikle ny viden. Endelig er det en vigtig ingrediens i Romers vision af vækstprocessen, at ideer kan ejes af private aktører, der kan videre-sælge retten til at bruge dem til andre aktører. Med introduktion af intellektuelle ejendomsrettigheder kan man håndhæve en eksklusiv ret til udnyttelse af ideer, der teknisk set ville kunne udnyttes af alle. I økonomisk terminologi kan ikke-rivaliserende goder gøres ekskluderbare.

Med udgangspunkt i denne vision har Romer udviklet en model for endogen økonomisk vækst, der bygger på følgende centrale antagelser: 1) Tilvæksten i beholdningen af ideer afhænger positivt af størrelsen af den eksisterende beholdning og af mængden af kvalificeret arbejdskraft (humankapital) beskæftiget med FoU. 2) En ide skabt via FoU kan danne grundlag for fremstilling af et specialiseret kapitalgode, som kan anvendes til færdigvareproduktion. 3) Virksomheder, der udfører FoU, kan opnå patent på de ideer, de udvikler. Patenterne kan sælges til producenterne af specialiserede kapitalgoder. 4) Den enkelte kapitalgodeproducent kan via et erhvervet patent opnå monopol på salg af sit specialiserede kapitalgode. 5) Da ideer er ikke-rivaliserende, er et patentsystem nødvendigt for at sikre incitamenter til at udføre FoU.

I en økonomi med disse karakteristika vil der til stadighed blive introduceret nye, specialiserede kapitalgoder baseret på nye ideer frembragt via FoU. Den stadige introduktion af nye typer af kapital vil sikre vedvarende endogen vækst i økonomien, selvom der er aftagende grænseafkast af de eksisterende typer af kapital. Vækstraten er således endogent forklaret i modellen og vil

afhænge af styrken af incitamentet til FoU samt tilstedeværelsen af kvalificeret arbejdskraft, der kan udføre forskning og udvikling.

Indsigter fra Romers teori

Romers teori om endogen vækst har tre fundamentale implikationer:

For det første er det nødvendigt at acceptere *ufuldkommen konkurrence* på markeder for goder, der bygger på nye teknologier. Det er monopolmagten og den deraf følgende profit, der skaber villigheden til at betale for de patenter, som gør FoU profitabel. Hvis der var fuldkommen konkurrence på alle markeder, og alle rene profitter straks blev bortkonkurreret, fordi intellektuelle ejendomsrettigheder ikke kunne beskyttes, ville der ikke være incitament til at udvikle ny teknologi gennem FoU, da nye ideer er ikke-rivaliserende. Det er dog værd at bemærke, at en patentrettighed og den deraf følgende monopolmagt ikke nødvendigvis behøver at være permanent for at tilskynde til FoU.

For det andet implicerer Romers teori, at nye teknologier bliver *underudnyttede*, fordi patentbeskyttelsen sætter producenterne af nye specialiserede kapitalgoder i stand til at sætte en pris, der overstiger marginalomkostningen ved at producere dem. De regulerende myndigheder står således overfor et trade-off: Hvis man accepterer vidtgående patentrettigheder, skaber man et stærkt incitament til udvikling af ny teknologi, men samtidigt gør man det muligt for ejerne af rettighederne til salg af den nye teknologi at tage høje (monopol)priser, hvorved udnyttelsen af teknologien bliver inoptimalt lav.

For det tredje vil der være en tendens til, at der bliver udført *for lidt FoU*, selv hvis der er et patentsystem, som beskytter intellektuelle ejendomsrettigheder. Det skyldes, at en større beholdning af eksisterende ideer gør det lettere at udvikle nye ideer. Udviklingen af en ny ide i en enkelt virksomhed har således en positiv spill-over-effekt på produktiviteten af FoU-aktiviteter i andre virksomheder. Det giver et rationale for offentlig støtte til forskning og udvikling.

Romers teori om endogen vækst fremhæver altså, at de processer, der skaber teknologisk udvikling og deraf følgende økonomisk vækst, er snævert sammenvævet med eksistensen af såkaldte markedsfejl. Teorien peger også på behovet for internalisering af de positive eksternaliteter fra FoU og for et velgenemtænkt patentsystem, der afbalancerer behovet for at sikre incitamentet til FoU over for behovet for en sikre en høj udnyttelsesgrad af eksisterende viden.

Styret teknisk udvikling

Romers ideer til modellering af endogene tekniske fremskridt har i de senere år inspireret til fremkomsten af en litteratur om ”styret teknisk udvikling”. Acemoglu (2002) gav et hovedbidrag til denne gren af nyere vækstteori, hvor økonomien inddeles i to eller flere sektorer, der bygger på specialiserede teknologier skabt gennem specialiseret FoU. I en indflydelsesrig artikel af Acemoglu m.fl. (2012) fokuseres der på en økonomi, hvor der foregår udvikling af hen-

holdsvis ”sorte” (miljøskadelige) og ”grønne” (miljøvenlige) teknologier. Den opstillede endogene vækstmodel har den egenskab, at profitabiliteten af FoU i en sektor er større, jo mere FoU-baseret specialiseret viden sektoren i forvejen har akkumuleret. Denne ide er tydeligt inspireret af Romer. Hvis der af historiske grunde har været udført megen FoU i en ”sort” sektor, der udvikler teknologier baseret på udnyttelse af fossile brændsler, bliver det således svært for en sektor, der udvikler alternative grønne teknologier, at tiltrække ressourcer til FoU. Der vil derfor være en tendens til, at den fortsatte teknologiudvikling især finder sted i den sorte sektor i en selvforstærkende proces med deraf følgende negative konsekvenser for miljøet. Hvis det skæve mønster i teknologiudviklingen skal brydes, må det offentlige gribe ind med målrettede subsidier til FoU i den grønne sektor for at styre den økonomiske vækst i en mere miljøvenlig retning. Når der over tid via offentlig støtte er opbygget en tilstrækkelig videnbase i den grønne sektor, bliver sektoren på et tidspunkt i stand til at tiltrække FoU-ressourcer og fortsætte sin teknologiudvikling uden yderligere behov for støtte, og subsidierne til sektoren kan dermed afvikles.

Acemoglu m.fl. (op.cit.) når altså til den optimistiske konklusion, at der kun er behov for midlertidig offentlig intervention for at dreje den teknologiske udvikling i grøn retning. På et tidspunkt bliver videnbasen i den grønne sektor så stor, at teknologiudviklingen af sig selv vil blive koncentreret i denne sektor. Andre forfattere såsom Greiner m.fl. (2018) har efterfølgende argumenteret, at der kan være behov for et permanent subsidie til FoU i den grønne sektor, hvis der er aftagende grænseudbytte af FoU i sektoren, og hvis substitutionselasticiteten mellem sorte og grønne teknologier ikke er meget høj. Disse forfattere peger endvidere på, at der kan være behov for at supplere støtte til grøn FoU med en CO₂-skat.

Den blomstrende litteratur om styret teknisk udvikling illustrerer, hvordan forskningsideer udviklet af Romer har inspireret til vigtige bidrag til den nyeste forskning i klimaøkonomi.

William Nordhaus: Klimaøkonomiens fader

Paul Romer har en meget stor del af æren for den revitalisering af teorien om økonomisk vækst, som den økonomiske videnskab har oplevet i de seneste årtier. Den anden økonomiske Nobelpristager i 2018, William Nordhaus, kan til gengæld siges at have grundlagt en helt ny forskningsretning inden for miljøøkonomi og vækstteori, nemlig klimaøkonomi. På grund af det stigende fokus på klimaproblemet var det da også især tildelingen af Nobelprisen til Nordhaus, der vakte opmærksomhed i den brede offentlighed.

Nordhaus begyndte allerede i starten af 1970'erne at overveje de økonomiske konsekvenser af den globale opvarmning, længe før klimaproblemet overhovedet var et tema i den offentlige og politiske debat. I 1977 skrev han fx i *American Economic Review*: ”*In contemplating the future course of economic growth in the West, scientists are divided between one group crying 'wolf' and another which denies the species' existence. One persistent concern has been that*

man's economic activities would reach a scale where the global climate would be significantly affected. Unlike many wolf cries, this one, in my opinion, should be taken very seriously." (Nordhaus, 1977: p. 341).

I Nordhaus' tidlige klimaøkonomiske bidrag såsom Nordhaus (1975, 1977) fokuserede han på, hvordan man kan udforme en omkostningseffektiv politik til begrænsning af CO₂-udledningerne med det formål at holde den globale opvarmning under en acceptabel overgrænse. Senere hævdede han ambitionsniveauet og byggede sin berømte klimaøkonomiske DICE-model med det formål at identificere den optimale klimapolitik og dermed den "optimale" grad af global opvarmning. I det følgende beskrives DICE-modellen og dens resultater samt den kritik, der har været rejst mod modellen. Vi kommer også ind på vigtige dele af den nyere klimaøkonomiske forskning, som bygger videre på Nordhaus' arbejde.

DICE-modellen

Nordhaus' Dynamic Integrated Climate Economy (DICE) model er den kendteste inden for klassen af såkaldte *Integrated Assessment Models* (IAM), der kombinerer en vækstmodel for det økonomiske system med en forenklet model for klimasystemet og beskriver samspillet mellem de to systemer. Nordhaus var pionér i udviklingen af denne modeltype, der integrerer naturvidenskabelig viden om klimasystemet med økonomernes indsigt i den økonomiske vækstproces.

Den første, forenkede IAM fra Nordhaus' hånd blev præsenteret i Nordhaus (1991), mens den mere helstøbte DICE-model blev fremlagt i sin første version i Nordhaus (1994). DICE-modellen beskriver, hvordan den økonomiske aktivitet fører til udledning af CO₂, som sammen med andre drivhusgasser (der udvikler sig eksogent i modellen) via drivhuseffekten medfører global opvarmning, der påfører økonomien skadeomkostninger, som sænker forbrugsmulighederne. Verdensøkonomien er i DICE beskrevet ved en standard Ramsey-model, hvor den økonomiske vækst drives af kapitalakkumulation og eksogene tekniske fremskridt, der vedvarende øger totalfaktorproduktiviteten. Som led i produktions- og forbrugsprocesserne afbrændes fossile brændsler, der fører til udledning af CO₂, men CO₂-intensiteten (CO₂-udledningen per produceret enhed) antages at falde eksogent over tid med 1,5 procent om året som følge af strukturelle ændringer i økonomien, svarende til det observerede gennemsnitlige fald siden 1960. Derudover kan niveauet for udledningerne sænkes gennem afholdelse af reduktionsomkostninger, som mindsker den del af produktionsresultatet, der kan anvendes til forbrug og investering.

Modelleringen af klimasystemet i DICE inkluderer en beskrivelse af det globale kulstofkredsløb, hvor CO₂ langsomt cirkulerer mellem dybhavet, biosfæren og den øvre del af havene og atmosfæren. Drivhuseffekten modelleres via ligninger, der forenklet beskriver, hvordan ophobning af drivhusgasser i atmosfæren medfører øget strålingspåvirkning fra solen, der på sin side medfører en stigning i såvel havenes som atmosfærens temperatur.

DICE-modellen indeholder to centrale omkostningsfunktioner. Den ene er reduktionsomkostningsfunktionen, der indebærer, at den marginale reduktionsomkostning stiger, i takt med at indsatsen for at nedbringe CO₂-udledningen per produceret enhed øges. Den anden er skadeomkostningsfunktionen, som angiver den andel af BNP, der går tabt som følge af de skader, klimaforandringerne forvolder. I sin generelle form er skadeomkostningsfunktionen forholdsvis fleksibel, men i kalibreringen af modellen antager den en kvadratisk form, som betyder, at den marginale skadeomkostning er en voksende funktion af den globale gennemsnitstemperatur ved jordens overflade.

Kalibreringen af DICE bygger på følgende principper: Parametrene i ligningerne til beskrivelse af klimasystemet er valgt sådan, at modellen stiliseret reproducerer resultaterne fra store, detaljerede klimamodeller (se dog kritikken nedenfor). Parametrene i modellens økonomiske system er fastsat, så modellen matcher stiliserede fakta vedrørende den økonomiske vækst. Det indebærer bl.a., at parametrene i husholdningernes nyttefunktion vælges sådan, at modellen genererer en realistisk opsparingskvote og et realistisk afkast af kapital. Endelig er skadeomkostningsfunktionen kalibreret på grundlag af Nordhaus' tolkning af en række mikroøkonomiske studier af forskellige effekter af variationer i klimaet på tværs af regioner og lande, mens reduktionsomkostningsfunktionens parametre bl.a. bygger på estimater for omkostningen til backstop-teknologier, der kan erstatte teknologi baseret på fossile brændsler.

Den samfundsmæssige CO₂-omkostning og den optimale klimapolitik

Et nøglebegreb i klimaøkonomien er den samfundsmæssige CO₂-omkostning, på engelsk betegnet som The Social Cost of Carbon (SCC). SCC angiver nutidsværdien af samtlige aktuelle og fremtidige skadeomkostninger som følge af udledning af et ekstra ton CO₂ i dag. Den samfundsøkonomisk optimale klimapolitik opnås da i det punkt, hvor den marginale reduktionsomkostning netop svarer til SCC, dvs. når omkostningen ved at reducere udledningen med et ekstra ton er lig med den marginale gevinst derved.

Ved simulering af DICE-modellen kan der opnås et skøn over SCC og den marginale reduktionsomkostning og dermed et skøn for den optimale reduktionsindsats over tid. I en markedsøkonomi kan den optimale klimapolitik implementeres ved at pålægge alle udledninger af CO₂ en ensartet afgift svarende til den estimerede størrelse af SCC. Omkostningsminimerende virksomheder og husholdninger vil nemlig øge deres reduktionsindsats op til det punkt, hvor deres marginale reduktionsomkostning netop svarer til CO₂-afgiftssatsen. Da alle aktører står over for den samme afgiftssats, vil man derved få udlignet den marginale reduktionsomkostning på tværs af alle sektorer i økonomien, hvorved man minimerer den samlede samfundsøkonomiske omkostning ved at opnå en given reduktion af udledningerne. Da afgiftssatsen og dermed den marginale reduktionsomkostning endvidere svarer til den

marginale skadeomkostning ved udledningen, opnår man tillige en optimal samlet reduktionsindsats.

Med Nordhaus' kalibrering af den seneste version af DICE giver modellen et skøn for SCC i 2018 på 36 USD per ton CO₂. Med en dollarkurs på godt 6,8 kr. per dollar indebærer det en aktuel SCC i størrelsesordenen 250 kr. per ton. Det er langt over den nuværende gennemsnitlige beskatning af CO₂-udledninger i verden som helhed, men alligevel så lav en omkostning, at det i DICE-modellens basiskalibrering vil være optimalt at acceptere en stigning i den globale gennemsnitstemperatur i forhold til førindustriel tid på ca. 3,5 grader frem mod år 2100 og en stigning på 4 grader frem mod 2150.

Selvom Nobelpriskomiteén understregede, at Nordhaus modtog prisen for sit metodiske bidrag og ikke for ovennævnte konkrete skøn, kan det ikke undre, at mange klimaforskere og økologer følte sig provokeret af hædringen af Nordhaus. I en hårdt formuleret artikel i tidsskriftet *Foreign Policy* hævdede antropologen Jason Hickel (2018) fx, at Nordhaus' forskning i praksis har legitimeret en udskydelse af den nødvendige klimaindsats med det resultat, at vi nu styrer mod en klimakatastrofe. Kritikken skal ses i lyset af anbefalingen fra FNs internationale klimapanel (IPCC) om, at en stigning i den globale gennemsnitstemperatur på mere end 1,5 grader kan medføre store og uoprettelige skadevirkninger.

Diskonteringsproblemet og debatten mellem Nordhaus og Stern

Da CO₂-udledninger i dag påvirker det fremtidige klima over horisonter på mange hundrede år, får valget af den samfundsmæssige diskonteringsrate afgørende betydning for størrelsen af den marginale skadeomkostning ved udledningerne (SCC). I en standard økonomisk vækstmodel som den, der er indbygget i DICE, er den rate, hvormed fremtidige forbrugsmuligheder neddiskonteres, givet ved den såkaldte Ramsey-formel:

Diskonteringsrate = tidspræferencerate + grænsenyttelasticitet × vækstrate i forbruget

Tidspreferenceraten er den rate, hvormed fremtidig *velfærd* ("nytte") neddiskonteres. Velfærdens antages i denne sammenhæng at afhænge af forbruget, og grænsenyttens af forbrug antages at være faldende: En given forbrugsstigning giver mindre stigning i velfærd, jo højere forbruget i forvejen er. Grænsenyttelasticiteten angiver det procentvise fald i grænsenyttens af forbrug, når forbruget stiger med 1 procent. I en velfungerende markedsøkonomi vil det observerede afkast af kapital (realrenten) være givet ved ovenstående formel for diskonteringsraten. I DICE-modellen vælger Nordhaus derfor værdier af tidspræferenceraten og grænsenyttelasticiteten, der med en realistisk vækstrate i forbruget giver en diskonteringsrate, som svarer til det observerede gennemsnitlige afkast af kapital. Med denne såkaldte deskriptive tilgang når Nordhaus frem til en real diskonteringsrate i størrelsesordenen 5 procent. Dermed tillægges klimaskadeomkostninger langt ude i fremtiden en ganske

lav vægt. Nordhaus' tilgang kan ses som en variant af princippet om forbrugersuverænit: Det observerede kapitalafkast afspejler, hvordan økonomiens aktører på marginalen vægter fremtidigt i forhold til nutidigt forbrug, og disse individuelle præferencer bør respekteres.

Stern (2007) argumenterer derimod for, at valget af diskonteringsrate i klimapolitisk sammenhæng bør afspejle samfundets etiske normer. Ifølge denne normative tilgang har de nulevende generationer som udgangspunkt ingen moralsk ret til at tillægge fremtidige generationers velfærd en lavere vægt end deres egen velfærd. Den eneste etisk forsvarlige begrundelse for en positiv tidspræferencerate er derfor, at der er en vis positiv sandsynlighed for, at menneskeheden en gang i fremtiden bliver udslettet, fx som følge af et meteornedslag. Stern når pragmatisk frem til, at dette højst kan begrunde en årlig tidspræferencerate på 0,1 procent. Han mener endvidere, at også fastsættelsen af grænsenyttelasticiteten i Ramsey-formlen ovenfor er udtryk for et etisk/fordelingspolitisk valg, der afspejler, hvor meget vægt man tillægger en forbrugsstigning til de rige i forhold til en forbrugsstigning for de fattige. Denne vægtning kommer bl.a. til udtryk i graden af progressivitet i skatte- og overførselssystemet. På dette grundlag, ifølge hvilket en positiv diskonteringsrate groft sagt kun kan forsvares med, at fremtidige generationer forventes at være rigere end de nutidige generationer, kommer Stern frem til en diskonteringsrate på omkring det halve af den, som Nordhaus anvender. Dermed bliver det i DICE-modellen optimalt at gennemføre langt større og hurtigere drivhusgasreduktioner end det, som en anvendelse af Nordhaus' diskonteringsrate tilsiger.

Miljødelæggelser og klimaskadeomkostninger

Mange økonomer har haft svært ved at godtage Sterns argumenter for en lav samfundsmæssig diskonteringsrentefod. De påpeger, at hvis disse argumenter overføres til andre områder af den økonomiske politik, så burde de vestlige samfund opspare og investere en langt større andel af nationalindkomsten end i dag fx gennem store permanente offentlige budgetoverskud eller omfattende tvangsopsparing i den private sektor. Er vi som samfund villige til det?

Stern & Persson (2008) har imidlertid fremhævet, at hvis man tager højde for den stigende relative knaphed på miljøgoder, behøver man ikke at acceptere Sterns meget lave diskonteringsrate for at begrunde en mere aktivistisk klimapolitik end den, Nordhaus anbefaler. En væsentlig del af skadeomkostningerne ved klimaforandringerne er velfærdstab ved de forringelser af miljøkvaliteten, som den globale opvarmning ventes at medføre. Det vil sammen med stigende materiel velstand føre til, at den relative værdi af de knappe miljøgoder vil være systematisk stigende over tid. Selv hvis man neddiskonterer de fremtidige tab af miljøkvalitet med Nordhaus' høje diskonteringsrate, vil effekten af diskonteringen i høj grad blive opvejet af, at de mistede fremtidige miljøgoder bliver stadigt mere dyrebare. Med en plausibel udvidelse og rekalibrering af DICE, der tager hensyn hertil, kommer Stern og Persson (op-

cit.) frem til, at man kan forsvare en endnu mere aktivistisk klimapolitik end anbefalet af Stern, selvom man fastholder Nordhaus' relativt høje tidspræferencerate.

Betydningen af usikkerhed og tipping points

Det er ikke kun debatten mellem Nordhaus og Stern om diskonteringsraten, der har slået gnister. Adskillige kritikere har fremført, at DICE-modellen ikke tager hensyn til den store usikkerhed om virkningerne af drivhusgasudledninger, herunder risikoen for, at de kan skubbe klimasystemet forbi farlige "tipping points", hvor der udløses katastrofale og irreversible klimaforandringer. Stærkest inden for økonomernes egne rækker er denne kritik blevet formuleret af Robert Pindyck, der karakteriserer IAM-modeller som DICE på denne lidet smigrende måde: *"These models have crucial flaws that make them close to useless as tools for policy analysis: certain inputs (e.g., the discount rate) are arbitrary, but have huge effects on the SCC estimates the models produce; the models' descriptions of the impact of climate change are completely ad hoc, with no theoretical or empirical foundation; and the models can tell us nothing about the most important driver of the SCC, the possibility of a catastrophic climate outcome. IAM-based analyses of climate policy create a perception of knowledge and precision, but that perception is illusory and misleading."* (Pindyck, 2013: p. 860).

Retfærdigvis skal det siges, at Nordhaus (2016) har forsøgt at belyse betydningen af usikkerhed for DICE-modellens resultater. Han har indlagt egne estimerede sandsynlighedsfordelinger for fem udvalgte parametre i modellen og simuleret den et stort antal gange for at undersøge spredningen i modelresultaterne ved forskellige træk af parameterverdier fra sandsynlighedsfordelingerne. Han finder, at usikkerhed gennemgående kun har en begrænset betydning for den optimale klimapolitik. Dette udfordres dog af Smidt (2019), der viser, at Nordhaus' konklusion er følsom over for, hvilke parametre der formodes at være usikkerhed om, og hvilken sandsynlighedsfordeling de antages at have. Fx viser Smidt (op.cit.) ved brug af samme metodik som Nordhaus, at usikkerhed om en række parameterverdier tilsiger en væsentligt mere ambitiøs klimapolitik end den optimale klimapolitik i standardversionen af DICE, når disse usikkerheder spiller sammen med usikkerhed om, hvor kraftigt klimaskadeomkostningerne stiger som følge af en stigning i den globale gennemsnitstemperatur.

Meget af kritikken mod DICE har rettet sig mod Nordhaus' specifikation af skadeomkostningerne ved den globale opvarmning. Specifikationen indebærer, at en stigning i gennemsnitstemperaturen på 4 grader Celsius kun vil medføre et tab på 4 procent af det globale BNP. Mange opfatter dette skøn som meget spekulativt set i lyset af, at kloden ikke har oplevet så høj en gennemsnitstemperatur inden for de sidste mere end 10 millioner år. Nordhaus' skadeomkostningsfunktion tager ikke højde for, at der kan forekomme abrupte klimaændringer i tilfælde af, at man passerer farlige tipping points. Weitzman

(2012) foreslog at modellere dette ved at modificere skadeomkostningsfunktionen i DICE, så den udviser stærkt stigende marginale skadeomkostninger ved høje temperaturstigninger. Weitzmans specifikation implicerer, at det globale BNP falder med 50 procent, hvis temperaturen stiger med 6 grader over det førindustrielle niveau. Ikke overraskende betyder dette, at CO₂-udledningerne bør sænkes væsentligt mere og hurtigere end anbefalingen fra standard-versionen af DICE. Også Weitzmans skadeomkostningsfunktion forekommer dog spekulativ og skal mest ses som et taleksempel på, hvor galt det kan gå, hvis man negligerer risikoen for at passere klimatiske tipping points.

Lemoine & Traeger (2014, 2016) og Lenton m.fl. (2019) opstiller IAM-modeller, der eksplicit inkluderer tipping points. De finder, at dette øger SCC med en faktor to til tre i forhold til DICE. Denne type beregninger forudsætter imidlertid, at man kender sandsynligheden for at udløse et tipping point ved en given temperaturstigning. I praksis er der stor usikkerhed om disse sandsynligheder og om sandsynlighedsfordelingen for en række andre nøgleparametre i IAM-modeller.

En slående egenskab ved DICE er, at totalfaktorproduktiviteten antages at vedblive at stige eksogent helt uanfægtet af klimaforandringerne. Dietz & Stern (2015) fremfører en række argumenter for, at dette er uplausibelt. De viser, hvordan DICE kan modificeres ved at tage hensyn til, at produktivtetsvæksten hæmmes af klimaforandringerne, og finder, at dette tilsiger en mere aktivistisk klimapolitik.

Nordhaus har som nævnt søgt at modellere klimasystemet sådan, at temperatureffekten af en højere koncentration af CO₂ i atmosfæren er nogenlunde den samme i DICE som i de store klimamodeller, der benyttes i klimavidenskaben. Imidlertid ser det ud til, at DICE og andre IAM-modeller ikke er på omgangshøjde med de nyeste klimamodeller. Som påpeget af Dietz m.fl. (2020) slår en højere CO₂-koncentration meget langsommere igennem på temperaturen i DICE end i nyere klimamodeller. Endvidere tager DICE ikke hensyn til, at en højere temperatur mindsker havenes og biosfærens evne til at optage CO₂ fra atmosfæren. Når modelleringen af klimasystemet i DICE korrigeres for disse skævheder, implicerer modellen en noget højere SCC end standardversionen af DICE.

Status: Kan Paris-aftalen forenes med DICE?

De senere års klimaøkonomiske forskning peger altså ret entydigt i retning af, at Nordhaus' specifikation og kalibrering af DICE fører til anbefaling af en klimapolitik, der er for "slap". Adskillige nyere studier tyder dog på, at modellen med passende justeringer og opdateringer kan give støtte til Paris-aftalens målsætning om at begrænse den globale opvarmning til 1,5-2 grader. I et omfattende meta-studie, der korrigerer for en række skævheder og mangler i tidligere empiriske analyser af sammenhængen mellem temperaturstigninger og klimaskadeomkostninger, når Howard & Sterner (2017) frem til en skadeomkostningsfunktion, der indlagt i DICE giver en SCC, som er 4-5 gange så høj

som i Nordhaus' version af modellen. Med denne korrektion bliver det ifølge modellen optimalt at holde den globale opvarmning nede omkring 2 grader.

I et helt dugfriskt studie opdaterer Hänsel m.fl. (2020) DICE med de seneste klimavidenskabelige indsigter i klodens kulstofkredsløb og energibalance og de nyeste estimater for klimaskadeomkostninger samt survey-baserede ekspertvurderinger af, hvilken samfundsmæssig diskonteringsrate der bør anvendes. Med disse opdateringer af DICE finder forfatterne, at tre fjerdedele af eksperterne opererer med diskonteringsrater, som gør det optimalt at holde opvarmningen under 2 grader og at en tredjedel af eksperterne bruger diskonteringsrater, der gør målet om en opvarmning på højst 1,5 grader optimalt.

Konklusion: Nordhaus' bidrag

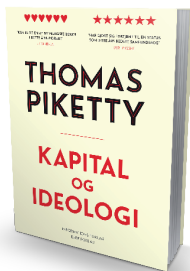
Denne oversigt illustrerer, hvorfor Nordhaus fik Nobelprisen for sit metodebidrag og ikke for sit konkrete bud på den optimale globale klimapolitik. De senere års klimaøkonomiske forskning tyder klart på, at en cost-benefit-analyse baseret på standardversionen af DICE-modellen undervurderer behovet for hurtige og massive reduktioner af drivhusgasudledningerne. Modellen har til gengæld vist sig at være en nyttig og fleksibel ramme, inden for hvilken man kan afprøve betydningen af alternative antagelser om samspillet mellem klimasystemet og det økonomiske system.

De senere års forskning baseret på DICE illustrerer dog også Pindycks pointe om, at man kan få et hvilket som helst resultat ud af en klimaøkonomisk model, afhængigt af de mere eller mindre arbitrære forudsætninger, man lægger ind. Frem for at komme med spekulative bud på den "optimale" klimapolitik bør klimaøkonomer måske søge tilbage til det mere ydmyge udgangspunkt for Nordhaus' egen forskning i 1970'erne, dvs. spørgsmålene: Hvad koster det at opfylde et givet mål for reduktion af drivhusgasudledningerne? Hvor meget stiger omkostningerne, hvis man skærper målet? Og hvordan kan man opfylde et givet reduktionsmål på en omkostningseffektiv måde?

Referencer

- Acemoglu, D. (2002). Directed technical change. *Review of Economic Studies* 69, 781-809.
- Acemoglu, D., P. Aghion, L. Bursztyn, D. Hemous (2012). The environment and directed technical change. *American Economic Review* 102, 131-166.
- Dietz, S., N.B. Stern (2015). Endogenous growth, convexity of damages and climate risk: how Nordhaus' framework supports deep cuts in carbon emissions. *Economic Journal* 125, 574-620.
- Dietz, S., F. van der Ploeg, A. Rezai, F. Venmans (2020). Are economists getting climate dynamics right and does it matter? Department of Economics, University of Oxford, *Working Paper* 900, February, 2020.
- Greaker, M., T.-R. Heggedal, K.E. Rosendahl (2018). Environmental policy and the direction of technical change. *Scandinavian Journal of Economics* 120, 1100-1138.
- Hickel, J. (2018). The Nobel Prize for climate catastrophe. *Foreign Policy*, December 6, 2018.

- Howard, P., T. Sterner (2017). Few and not so far between: a meta-analysis of climate damage estimates. *Environmental and Resource Economics* 68, 197-225.
- Hänsel, M., M. Drupp, D. Johansson, F. Nesje, C. Azar, M. Freeman, B. Groom, T. Sterner (2020). The Economics Nobel Prize and the UN climate targets: from clash to consistency. Fremkommer i *Nature Climate Change*.
- North, D. (1981). *Structure and Change in Economic History*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Koopmans, T. (1965). On the concept of optimal economic growth. I *The Economic Approach to Development Planning*, 225-287, Chicago, IL: Rand McNally.
- Lemoine, D., C. Traeger (2014). Watch your step: optimal policy in a tipping climate. *American Economic Journal: Economic Policy* 6, 137-166.
- Lemoine, D., C. Traeger (2016). Economics of tipping the climate dominoes. *Nature Climate Change* 6, 514-519.
- Lenton, T., J. Rockström, O. Gaffney, S. Rahmstorf, K. Richardson, W. Steffen, H. Schellnhuber (2019). Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature* 575, Comment 28 November 2019.
- Nordhaus, W.D. (1975). Can we control carbon dioxide? International Institute for Applied Systems Analysis, *Working Paper* 75-63, Vienna.
- Nordhaus, W.D. (1977). Economic growth and climate: the case of carbon dioxide. *American Economic Review* 67, 341-346.
- Nordhaus, W.D. (1991). To slow or not to slow: the economics of the greenhouse effect. *Economic Journal* 101, 920-937.
- Nordhaus, W.D. (1994). *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*. MIT Press, Cambridge, MA..
- Nordhaus, W.D. (2016). Projections and uncertainties about climate change in an era of minimal climate policies. *National Bureau of Economic Research Working Paper* 22933, December 2016.
- Pindyck, R.S. (2013). Climate change policy – What do the models tell us? *Journal of Economic Literature* 51, 860-872.
- Ramsey, F.P. (1928). A mathematical theory of saving. *Economic Journal* 38, 543-559.
- Romer, P.M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy* 94, 1002-1037.
- Smidt, E. (2019). *The impact of uncertainty in economic models of climate change – A study with the DICE model as example*. Master thesis, Department of Economics, University of Copenhagen, December 2019.
- Solow, R.M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics* 70, 65-94.
- Stern, N.B. (2007). *The Economics of Climate Change – The Stern Review*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Sterner, T., M. Persson (2008). An even sterner review: introducing relative prices into the discounting debate. *Review of Environmental Economics and Policy* 2, 61-76.
- Weitzman, M.L. (2012). GHG targets as insurance against catastrophic climate damages. *Journal of Public Economic Theory* 14, 221-244.



Den anmelderroste *Kapital og ideologi* af Thomas Piketty er på én gang en genfortælling af verdenshistorien, en skarp kritik af nutidens politik og et dristigt bud på et nyt og mere fair økonomisk system.

<https://www.djoef-forlag.dk/book-info/kapital-og-ideologi>