

De Økonomiske Råd

d. 21.01.2020

Lars Gårn Hansen,
Niels Vestergaard,
Niels Christian Fredslund
(DØRS)
Dok. Nr. [xxxx]

Betydningen af tipping points for gevinsten ved klimapolitik

Formålet med dette notat er at redegøre for hvilke implikationer en række nyere studier, der tager højde for såkaldte tipping points¹, har for den forventede klimagevinst ved at reducere drivhusgasudledningerne. Mere konkret sammenlignes implikationerne af to grupper af studier: dels studierne af Lemoine & Traeger som dannede udgangspunkt for DØRS oplægget til udvalgets høring om kvoteannulleringer i december; dels studierne af Lenton & Co som udvalgets formand henviste til under høringen.

Social Cost of Carbon (SCC) er den etablerede indikator for skaden ved at udlede drivhusgasser. SCC udtrykker de samlede omkostninger for verden ved at udlede et ton mere af CO₂. SCC indikerer dermed også verdens gevinst ved at reducere drivhusgasudledningerne med et ton. Integrerede klimamodeller såsom DICE-modellen² benyttes til at beregne SCC ved drivhusgasudledninger nu og i fremtiden³.

Tidligere studier, der benytter DICE og andre integrerede modeller (se fx oversigtsartiklen af Weyant 2017), har ikke eksplicit taget højde for tipping points. De tidligere studier viste, at SCC de næste mange år er konstant eller svagt og nogenlunde jævnt stigende med størrelsen af den eksisterende koncentration af drivhusgasser i atmosfæren på udledningstidspunktet⁴. Det betyder alt andet lige, at

¹ Eksempler på konkrete tipping points er opløsning af grønlandsisen, ændringer i den atlantiske termohaline cirkulation og skovdød af Amazon.

² DICE-modellen er den kanoniserede klimamodel og udviklet af Nordhaus, som fik Nobel-prisen i 2018 for sit arbejde. Både Lemoine & Traeger og Lenton & Co benytter varianter af DICE modellen til deres analyser.

³ Beregningen af SCC kræver en integreret klimamodel der afspejler en række komplekse og usikre sammenhænge såsom: 1) Kulstofkredsløbet og 'klima-følsomheden' (relationen mellem koncentration af CO₂ i atmosfæren og temperaturstigning), herunder hvor mange år der går fra udledning til relateret temperaturstigning, 2) skadesfunktionen, som er relationen mellem temperaturstigning og klimaskader, hvor klimaskaderne desuden også afhænger af indkomstudviklingen, og 3) diskonteringsraten, da klimaskaderne sker i fremtiden.

⁴ Jævnt og lidt stigende SCC fås når man følger DØRS diskonteringsprincip, hvor klimaskader kun tilbagediskonteres med velstandsudviklingen (normalt ca. 1.5 pct.) men ikke med tidspræferencer (normalt ca. 1.5 pct.). Vi følger det princip, da det er effekter, der rammer fremtidige generationer, hvor ren tidspræference diskontering er mindre

SCC ved udledninger i fremtiden er lige så store eller større end ved udledninger i dag. Nyere naturvidenskabelig viden om såkaldte tipping points kan ændre herpå. Et tipping point betyder, at når koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren overstiger et vist niveau igangsættes der en ikke-reversibel proces der kan føre til betydelige yderligere klimaskader selv om der ikke udledes flere drivhusgasser⁵. Sådanne tipping points betyder, at gevinsten ved at gennemføre drivhusgasreduktioner i dag bliver større i forhold til tidligere studier, fordi reduktionerne kan udskyde igangsættelsen af tipping points. Gevinsten ved drivhusgasreduktioner i fremtiden kan også stige som følge af tipping points af denne type; men stigningen kan være mindre fordi der på et senere tidspunkt allerede kan være igangsat et eller flere tipping points hvorfor en drivhusgasreduktion i fremtiden ikke nødvendigvis giver samme gevinst i form af udskudte tipping points⁶. Tipping points kan derfor betyde, at SCC-forhøjelsen for udledninger i fremtiden bliver mindre sammenlignet med SCC-forhøjelsen for udledninger i dag. Det kan alt andet lige betyde, at SCC ved udledninger i fremtiden bliver mindre end ved udledninger i dag.

Der pågår betydelig forskningsaktivitet omkring betydningen af tipping points for SCC og dermed klimapolitikken. En væsentlig modelmæssig udfordring er, at der generelt mangler detaljeret viden om tipping point og deres konsekvenser, hvilket betyder, at der er usikkerhed omkring de kvantitative resultater. Her sammenlignes to grupper af studier (benævnt Lemoine & Traeger og Lenton & Co), som begge anvender DICE-modellen som grundlag⁷.

I tabel 1 er først vist de vigtigste forudsætninger i modellerne, herunder modelleringen af tipping points. Dernæst vises effekten af tipping points på BNP og sidst vises hvorledes SCC i 2020 henholdsvis 2050 påvirkes.

relevant. Medtages tidspræferencer i diskonteringen, hvilket mange analyser gør, fås en væsentligt stærkere stigning i SCC over tid og et væsentligt lavere SCC-udgangsniveau i dag.

⁵ Et konkret eksempel på et sådant tipping point er den grønlandske indlandsis hvor det forventes at hvis afsmeltningen på grund af klimaændringer bringer iskappen under 80 % af det nuværende niveau så igangsættes processer der betyder at afsmeltningen fortsætter til 20 % af den nuværende ismasse, selv om yderligere drivhusgasudledning helt skulle ophøre (Nordhaus 2019). Hastigheden af den afsmeltningssproces der igangsættes kan reduceres hvis udledningen af drivhusgasser reduceres. Selv om drivhusgasudledningerne helt ophører, vil afsmeltningssprocessen til 20 % af nuværende ismasse fortsætte om end med nedsat hastighed.

⁶ Andre typer af tipping points kan dog betyde at SCC for fremtidige udledninger stiger *mere* end for udledninger i dag. For eksempel kan et tipping point betyde at klimafølsomheden stiger og dermed at skaden ved yderligere CO₂ udledning stiger. Et konkret eksempel herpå er frigivelse af metan fra permafrost lag efterhånden som temperaturen stiger. Sådant et metan udslip forstærker den temperaturstigning som drivhusgasudledninger medfører og kan – alt andet lige – betyde, at SCC i fremtiden efter et sådant tipping point er indtrådt stiger mere end SCC i dag.

⁷ Andre eksempler på modellering af tipping points er Nordhaus (2019) og Daniel, Litterman og Wagner (2019). Nordhaus udvider DICE med en delmodel for afsmeltningen af den grønlandske indlandsis (se fodnote 4), mens Daniel, Litterman og Wagner indarbejder usikkerhed og risiko eksplicit i modellen, bl.a. ved en større risiko-aversion i nyttefunktionen, de såkaldte Epstein-Zin præferencer.

Begge tilgange indarbejder flere tipping points med interaktion. Lenton & Co. har en detaljeret modellering af tipping points, specielt mht. deres tidsmæssige gennemslag og interaktionen imellem dem, mens Lemoine & Traeger antager et hurtigt gennemslag og simple interaktion; men de inddrager til gengæld læring i modellering af virkningerne af tipping points på klimasystemet og økonomien. Sandsynlighederne for tipping points er imidlertid modelleret nogenlunde ens. Hos både Lemoine & Traeger og Lenton & Co. er de økonomiske effekter af tipping points meget langt ude i fremtiden, hvilket sammenholdt med relative små sandsynligheder for tipping points medfører at det forventede tab i BNP i år 2100 kan beregnes til henholdsvis 0,25 - 0,50 pct. og 0,53 pct. af BNP⁸. De langsigtede og endelige effekter af tipping points, både enkeltvis og med interaktion er antaget størst hos Lenton og Co., da de antager større endelige skader, se tabel 1. De endelige skader er, når effekten af tipping point har fuldt gennemslag i klimaet og dermed også i økonomien.

Tabel 1. Sammenligning af Lemoine & Traeger og Lenton & Co.

	Lemoine & Traeger	Lenton & Co
Antal tipping points	3	5
Interaktion mellem tipping points	Ja, delvis	Ja
Videnskabeligt grundlag for modelleringen af tipping points	Egen udvikling baseret på litteraturen	Ekspertudsagn
Risiko præferencer ¹	Konstant relativ risikoaversion	Epstein-Zin
Sandsynlighed for tipping ved temperaturstigning på 1,5 grader	18 pct.	12 pct.
Sandsynlighed for tipping ved temperaturstigning på 2,5 grader	50 pct.	46 pct.
Læring	Ja	Nej
Gennemslagstid	Med det samme.	50, 500, 1500 år afhængig af tipping point
Forventede velfærdstab i pct. af BNP i 2100 pga. tipping points.	0,25 - 0,5 pct.	0,53 pct. af BNP
Endeligt velfærdstab i pct. af BNP. Et tipping point forekommer.	3 - 4 pct. af BNP	5-15 pct. af BNP
Endeligt velfærdstab i pct. af BNP. Alle tipping points forekommer.	18 pct. af BNP (i år 2200)	38 pct. af BNP (i år 3020)
SCC 2020 – stigning ift. DICE	250 pct.	320 pct. ¹
SCC 2050 – stigning ift. DICE	209 pct.	290 pct. ¹

¹ Stigningen afspejler alene betydningen af at tilføre tipping points. Ændret risiko præferencer i forhold til DICE-modellen øger SCC forskellen yderligere.

⁸ Dette gælder både for optimal politik og andre mere realistiske forløb der ikke når 1½-graders målet, så som IPCC RPC6.0. Uanset forløb vil langt størstedelen af den forventede skadesvirkning af tipping points forekomme efter 2100.

Begge model-tilgange giver væsentligt højere SCC, når der tages højde for tipping points. Implikationen af den højere SCC er, at det er optimalt for verden at reducere drivhusgasudledningerne betydeligt hurtigere sammenlignet med resultaterne fra DICE-modellen uden tipping points. Lemoine & Traeger får en lavere stigning i SCC som følge af tipping points end Lenton & Co., da deres model har læringseffekter, dvs. at der læres mere og mere om klimasystemet, hvilket kan anvendes aktivt til at undgå tipping points. Lenton & Co. anvender som nævnt i fodnoten til tabel 1 en anden nytte funktion, der tillader mere risikoaversion, hvilket i deres modeltilgang betyder en stigning af SCC udover, hvad der fremgår af tabel 1.

Betydningen af tipping points for tidsprofilen af SCC de næste 30 år er derimod mindre i begge tilgange. Lemoine & Traeger tilgangen betyder, at SCC i 2050 alt andet lige er godt 15 pct. lavere end i dag, mens tilgangen i Lenton & Co. betyder at SCC alt andet lige er knap 10 pct. lavere i 2050 end i dag⁹. Den ændrede nytte funktion med mere risikoaversion i Lenton & Co. tilgangen påvirker ikke tidsprofilen for SCC nævneværdigt. I forhold til tidligere studier implicerer begge grupper af studier med tipping points, at det er vigtigt at drivhusgasreduktioner foretages inden 2050; men på grund af tidsprofilen for SCC også at det er mindre afgørende hvornår i perioden frem mod 2050 et givet drivhusgasbudget¹⁰ udledes.

Policy implikationer for kvoteannullering

Ifølge vores beregninger forsinkes klimaeffekten af kvoteannulleringer med 20 år i forhold til tiltag, der reducerer danske udledninger. Baseret på ovenstående studier medfører en forsinkelse på 20 år en reduktion af klimagevinsten på 7-10 pct.. Da kvoteannullering gennem fleksibilitetsmekanismen ifølge vores beregninger giver 75 pct. højere global CO₂-reduktion end tiltag, der reducerer danske udledninger, er den globale **klimaskadesreduktionen omkring 60 pct. højere ved et ton CO₂-kvoter annulleret gennem fleksibilitetsmekanismen end ved et ton reduceret CO₂-udledning i Danmark** uanset om der tages udgangspunkt i Lemoine & Traeger eller Lenton & Co. Benyttes Klimarådets beregningsforudsætninger som grundlag, er forsinkelsen 26 år, hvilket betyder en reduktion af klimagevinsten på 9-13 pct., mens den globale CO₂-reduktion kun er knap 40 pct. større ved kvoteannullering. Med udgangspunkt i Klimarådets beregningsforudsætninger er **klimagevinsten ved et ton kvoter annulleret gennem fleksibilitetsmekanismen dermed omkring 25 pct. højere end ved tiltag, der reducerer CO₂-udledningerne i Danmark**, uanset om der tages udgangspunkt i Lemoine & Traeger eller Lenton & Co.

⁹ Dette gælder både for et optimalt forløb og for et baseline forløb, f.eks. IPCC RPC6.0.

¹⁰ Et drivhusgasbudget ('carbon budget') for Danmark frem til 2050 er summen af udledningerne fra i dag frem til 2050. 2050 er året hvor nettoudledningerne fra Danmark skal være nul, jf. klimaloven.

Referencer

Lenton & Co.:

Cai, Y., Judd, K. L., Lenton, T. M., Lontzek, T. S., & Narita, D. (2015). Environmental tipping points significantly affect the cost-benefit assessment of climate policies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(15), 4606-4611.

Cai, Y., Lenton, T. M., & Lontzek, T. S. (2016). Risk of multiple interacting tipping points should encourage rapid CO₂ emission reduction. *Nature Climate Change*, 6(5).

Lenton, T. M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W., & Schellnhuber, H. J. (2019). Climate tipping points-too risky to bet against. *Nature*, 575(7784).

Lontzek, T. S., Cai, Y., Judd, K. L., & Lenton, T. M. (2015). Stochastic integrated assessment of climate tipping points indicates the need for strict climate policy. *Nature Climate Change*, 5(5).

Lemoine & Traeger:

Lemoine, D. M., & Traeger, C. P. (2012). *Tipping points and ambiguity in the economics of climate change* (No. w18230). *National Bureau of Economic Research*.

Lemoine, D., & Traeger, C. (2014). Watch your step: optimal policy in a tipping climate. *American Economic Journal: Economic Policy*, 6(1), 137-66.

Lemoine, D., & Traeger, C. P. (2016). Economics of tipping the climate dominoes. *Nature Climate Change*, 6(5).

Andre relevante artikler:

Daniel, K. D., Litterman, R. B., & Wagner, G. (2019). Declining CO₂ price paths. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(42), 20886-20891.

Nordhaus, W. (2017). Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1518-1523.

Nordhaus, W. (2019). Economics of the disintegration of the Greenland ice sheet. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(25), 12261-12269.

Weyant, J. (2017). Some Contributions of Integrated Assessment Models of Global Climate Change, *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(1), 115–137.