

Vurdering av ulike vekt faktorer

Klimaeffekter av ulike utslipp

Menneskelige aktiviteter fører til en rekke forskjellige utslipp. Noen av disse er klimagasser/ drivhusgasser som blandes godt i atmosfæren fordi levetiden er lang nok, mens andre gir kortlevde klimadrivere. I den første kategorien finner vi karbondioksid (CO_2), lystgass (N_2O) og en rekke andre klimagasser. Metan (CH_4) klassifiseres ofte som kortlevd sammen med partikler og ozonforløpere, selv om utslippene blir blandet godt i atmosfæren.

Utslipp av klimagasser fører til at konsentrasjonen av disse gassene øker i atmosfæren og medfører global oppvarming (se figur 1 for endring i strålingsbalansen). Dette gjelder også for CH_4 , men her er bildet noe mer komplisert siden utslipp av CH_4 også gir mer vanndamp i den øvre atmosfæren (stratosfæren) og mer ozon i den nedre atmosfæren (troposfæren). Begge disse gassene er også oppvarmende. En økning av metan i atmosfæren fører også til en reduksjon av atmosfærens oksidasjonsevne slik at levetiden til metan forlenges til ca. 12,4 år, dvs. en selvforsterkende effekt som øker oppvarmingen. Med levetid mener vi at det er $1/e=37\%$ av gassen igjen i atmosfæren etter et engangsutslipp. CH_4 brytes til slutt ned til CO_2 . For biologiske kilder av CH_4 er det vanlig å se bort fra CO_2 -en som dannes siden dette ikke er en del av det fossile tillegget til karbonkretsløpet.

Men for CH_4 fra fossile kilder inkluderes de indirekte utslippene av CO_2 ved nedbrytning. Som vi ser i figur 1, gir dette bare et lite bidrag til totaleffekten av CH_4 -utslipp. Helt uavhengig av dette vil alle utslipp også indirekte påvirke CO_2 -konsentrasjonen gjennom tilbakekoblinger i klimasystemet (f.eks. gjennom tining av permafrost og frigjøring av CO_2), men det varierer om disse tas med i vekt faktorer.

En endring i strålingsbalansen vil over tid påvirke den globale temperaturen. Klimasystemet er tregt, fordi spesielt dyphavet bruker tid på fange den ekstra energien og avgi denne varmen til atmosfæren. I figur 2 viser vi hvor mye den globale temperaturen stiger som følge av de globale utslippene av CO_2 , CH_4 og N_2O som fant sted i 2014. Etter ett tiår er den globale temperaturendringen omtrent den samme for CO_2 og CH_4 , mens mye av den oppvarmende effekten av CH_4 forsvinner i løpet av noen tiår. De globale utslippene av N_2O har en svakere oppvarming på kort sikt, men oppfører seg likt som CO_2 ved å fortsette å varme opp atmosfæren i århundrer. Effekten av utslipp av de langlevde klimagassene akkumuleres dermed, mens det i langt mindre grad gjelder for CH_4 og andre kortlevde klimadrivere. Men siden metanutslipp påvirker det sakte dyphavet, må disse reduseres med 0,3 % årlig for at bidraget til den globale oppvarmingen skal være konstant [5]. Hvordan økende, konstante og fallende utslipp påvirker den globale temperaturen vises skjematisk i Figur 3. CO_2 og N_2O har en akkumulerende effekt. CH_4 akkumuleres i langt mindre grad.

Faktaboks: Vekt faktorer

Utslipp kan sammenlignes med bruk av vekt faktorer («emission metrics» eller «climate metrics» på engelsk). De tar vanligvis utgangspunkt i en klimakomponent og et tidsperspektiv. Mange ulike vekt faktorer har blitt diskutert i faglitteraturen. De to mest kjente er Global Warming Potential (GWP) [1] og Global Temperature change Potential (GTP) [3, 4]. I offisielle klimaregnskap brukes i dag GWP med et 100 års tidsperspektiv. Vekt faktorer brukes for enkelt å kunne sammenligne klimaeffekter av utslipp. Hvilken vekt faktor som brukes avhenger av en rekke verdivalg og av hva som er analysens formål.

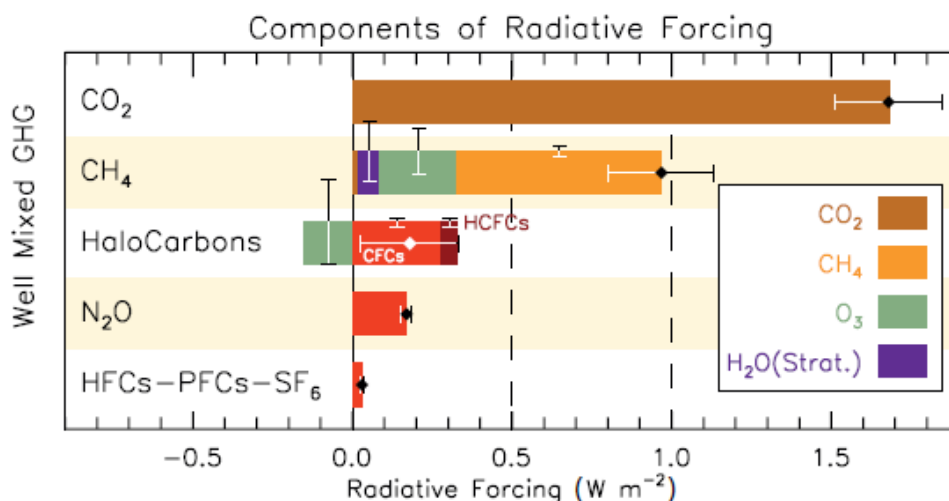
De ulike komponentene i utslippene kan sammenlignes med hverandre ved bruk av vekt faktorer (se faktaboks). Den eldste og mest brukte er GWP. Som regel summeres og sammenlignes utslipp som CO₂-ekvivalente utslipp ved bruk av GWP med et tidsperspektiv på 100 år. Dette formuleres som GWP(100). Det er blitt foreslått mange ulike varianter av vekt faktorer. Hvilken man bruker henger sammen med hvilken type virkning man er interessert i. Hvilke tidsperspektiv man har spiller også inn, samt om man er opptatt av klimaeffekter på kort eller lang sikt. Man kan se på klimaeffekter summert over tid (som GWP), som et øyeblikksbilde (som GTP) eller med kost-nytte analyser (som Global Damage Potential) [12, 13].

Analysens formål vil kunne bestemme hvilken vekt faktor som er relevant å bruke.

Som et eksempel på mylderet av vekt faktorer gikk en artikkel fra i fjor gjennom 15 ulike vekt faktorer som kan brukes på utslipp av CH₄ [14]. Diskusjonen om vekt faktorer er imidlertid ikke ny [1, 15]. En av de meste kjente alternativene til GWP er GTP (se faktaboks). De senere årene har det blitt foreslått varianter av GWP og GTP, GWP* og gjennomsnittlig absolutt GTP (1-25) (se faktabokser). De siste årene har flere studier inkludert tilbakekoblinger mellom klimaendringer og karbonsyklusen i vekt faktorer på en mer gjennomført måte enn før, noe som vil løfte vekt faktorverdiene noe [16, 17].

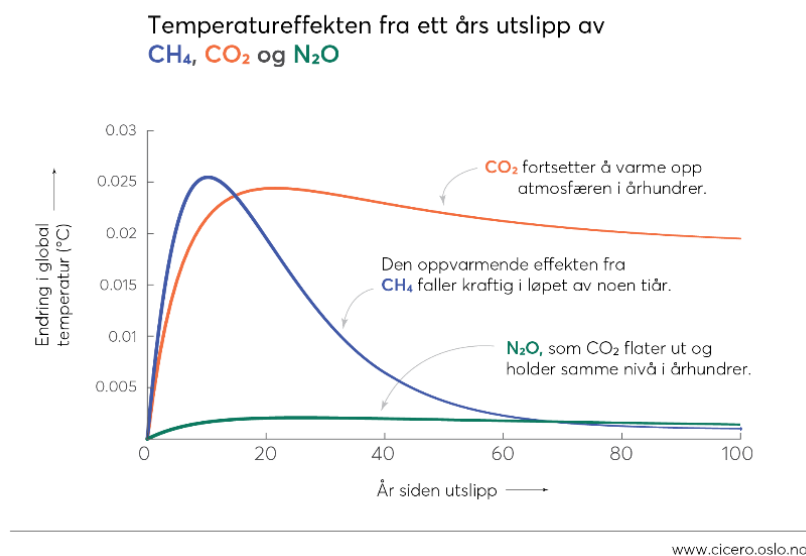
Faktaboks: GWP versus GWP*

GWP er en av de eldste vekt faktorene og var med allerede i den første hovedrapporten fra FNs klimapanel i 1990 [1]. Den ble ikke presentert som den vekt faktoren som skulle brukes, men for å «illustre den iboende vanskeligheten» med å regne om fra en klimagass til en annen, og å belyse kunnskapshull og usikkerhet når det gjaldt slike omregninger [1]. GWP sammenlikner, litt forenklet, endringen i strålingsbalansen over en gitt tidsperiode som følger av et utslipp, med tilsvarende effekt av et like stort utslipp av CO₂. Over en tidsperiode over 100 år vil da CH₄ få en faktor på 28 [6], som sier at utslipp av 1 kg CH₄ tilsvarer 28 kg CO₂ gitt denne sammenligningsmåten. GWP* [5, 7-10] er en alternativ måte å bruke GWP på. Motivet bak alternativet var å bedre kunne ta hensyn til både den kortvarige oppvarmingen av kortlevde klimadrivere og den langvarige oppvarmingen fra langlevde klimagasser. Noen forskere har da foreslått at man burde sammenligne en permanent endring i utslippene av kortlevde klimadrivere med et engangsutslipp av langlevde klimagasser, vanligvis CO₂. GWP* blir diskutert blant forskere, slik andre vekt faktorer også har vært gjenstand for kritikk. En ny artikkel kritiserer GWP* ved å hevde at de historiske utslippene får da stor betydning og at ved bruk av GWP* vil det gi nye utilsiktede urimeligheter for land som allerede i dag har lave utslipp [11].

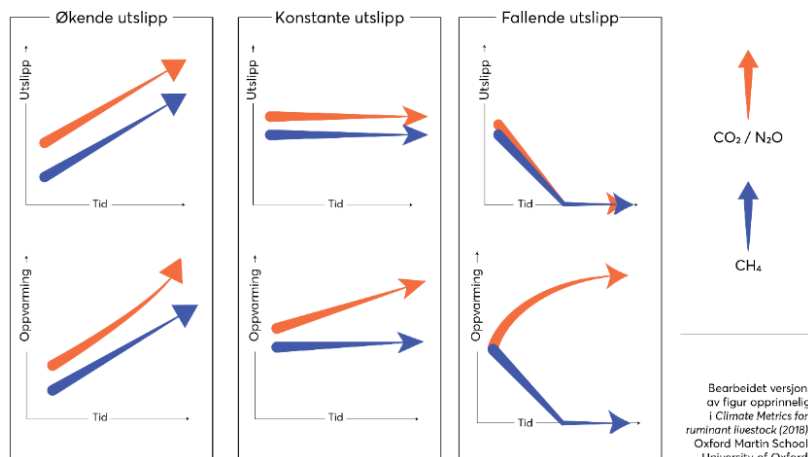


Figur 1: Strålingspådrivet i 2011 sammenlignet med førindustriell tid for utslipp av ulike klimagasser. Det sier noe om hvor mye strålingsbalansen på jorda er endret av disse utslippene. Positive verdier gir global oppvarming. For metan er endringen delt opp i de gassene utslippene påvirker. Horisontale usikkerhetsintervall angir usikkerheten i det totale strålingspådrivet. Figuren er hentet fra FNs klimapanel [6].

For CH_4 er vektfactorene mellom utslipp fra fossile og biologiske kilder ulike, ettersom fossile kilder fører til indirekte utslipp av CO_2 . Hvis alt CH_4 brytes ned til CO_2 , ser vi at vektfaktorverdien alltid er 2,75 høyere for fossile utslipp av CH_4 enn biologiske utslipp. Forskjellen er gitt av hvor tunge molekylene CO_2 og CH_4 er [18]. Med GWP (100) verdi på 28 er dermed forskjellen mellom fossilt og biologisk ca. 10 %, mens for vektfactorer hvor CH_4 har en lav verdi (langt tidsperspektiv), vil forskjellen være større.



Figur 2: Den globale oppvarmingen fra ett års globale utslipp av CO_2 , CH_4 og N_2O . Den oppvarmende effekten fra metan varer i noen tiår, med en topp etter ti år. Likevel er det en liten restvarme som varer i lang tid fordi havet avgir energi sakte. Temperaturtoppen nåes mellom 20 og 30 år for CO_2 og N_2O , men oppvarmingen vil vare ved i hundrevis av år.



Figur 3: Stilisert hvordan den globale temperaturen vil endre seg med forskjellige utviklinger av utslipp av CH_4 , CO_2 og N_2O . Klimagassene er gruppert slik fordi CH_4 påvirker klimaet i nokså kort tid, mens CO_2 og N_2O påvirker i flere århundrer framover. Revidert versjon av figur fra Allen med flere [5].

Vektfactorer sett mot temperaturmål

Det finnes ikke et fasitsvar på hva som er den rette vektfactoren å bruke, bare faglige og politiske vurderinger av hva som kan være gode og mindre gode alternativer. Siden GWP(100) har blitt brukt i mange år og er veletablert, er en vurdering, bl.a. av Climate and Clean Air Coalition, å fortsette å

bruke denne vekt faktoren for temperaturmål [19]. Hvis man har et mål om å begrense den globale temperaturen til et visst nivå, mener vi det vil det være naturlig å bruke en vekt faktor som går på temperatur. Den femte hovedrapporten fra FNs klimapanel deler også dette synet [6]. For et temperaturmål kan da GTP brukes. Hvis man kan estimere når man vil nå temperturstabiliseringen, har studier foreslått å bruke GTP med en synkende tidshorisont [4, 20]. Etter hvert som man nærmer seg målet reduseres altså tidsperspektivet, slik at året før stabiliseringsmålet nås, bruker man GTP (1). Dette vil medføre en økende vekt faktorverdi med tiden for komponenter som har kortere levetid enn CO₂. For N₂O og andre komponenter med lang levetid vil det bety en ganske stabil vekt faktorverdi, men synkende verdi de aller siste årene. En implisitt antagelse er at det er utviklet teknologi slik at det ikke vil koste noe ekstra å holde utslippene nede etter stabilisering.

Vekt faktorer sett mot oppvarmingshastigheten

På dette feltet kjenner vi ikke til mye faglitteratur med anbefalinger. Men som for stabiliseringsmål går oppvarmingshastighet på global temperatur, og dermed mener vi at GTP ikke er et unaturlig valg. Gjennomsnittlig AGTP over de første 25 årene [2, 19] er foreslått som en vekt faktor som tar inn over seg temperaturendringer i det korte perspektivet og som kunne være relevant i en ratediskusjon. Et annet arbeid [20] foreslår også å bruke GTP som vekt faktor, men med tidshorisont som dekker den tidsperioden der temperaturrenten ligger over det som er sett på som uakseptabel. Etter hvert som man nærmer seg denne perioden og innad i denne perioden, vil tidshorisonten være synkende. En utfordring med vekt faktorer på oppvarmingshastigheten er at det kan åpne opp for perverse insentiv, slik at det gir uønskede effekter for det langsiktige temperaturmålet.

Faktaboks: GTP

GTP er en vekt faktor som tar utgangspunkt i global temperaturendring, noe som gjør den relevant ved politiske målsetninger om å begrense temperaturnivået eller temperaturrate til et visst nivå. Enkelt sagt sammenlikner GTP endringen i den globale temperaturen i et gitt år som følger av et utslipp, mot temperaturendring av et like stort utslipp av CO₂. Mens GWP ser på endring over hele tidsperioden fra utslippene finner sted til tidspunktet du er interessert i, ser GTP bare på temperaturendring ved valgte tidspunkt. En foreslått variant av GTP er gjennomsnittlig absolutt GTP over de første 25 årene [2]. Dette er en relevant vekt faktor hvis man skal ta for seg kortsiktige temperaturendringer eller rateperspektiv de første tiårene.

Metan som ozondriver og betydning for avlinger

Utslipp av CH₄ fører til økte ozonkonsentrasjoner. Siden CH₄ har så lang levetid, spiller det liten rolle hvor utslippene skjer. Forhøyete nivåer av ozon gir helseproblemer og skader også planter [21]. Skader på planter kan bare skje når spalteåpningene er åpne, - det er da ozon kan tas opp. De er åpne for å ta opp CO₂, men vanndamp går tapt. Høye ozonverdier oppstår ved høytrykksituasjoner om sommeren (mye sol og lite vind), vær situasjoner som også gir tørke. Ved tørkeperioder snurpes spalteåpningene inn, og ozonopptaket reduseres. Men dersom det vannes, vil ozonopptaket og skadene øke. Ozon skader landbruksavlinger på en rekke måter, bl.a. ved redusert fotosyntese, påvirkning av karbonopptaket og reduksjon av avlingens kvantitet og kvalitet.

Utslippene av CH₄ gir også en rekke andre effekter på avlinger. En studie [22] har modellert at menneskeskapte utslipp fram til i dag reduserer dagens globale avlinger med nesten 10 %, hvor litt over halvparten skyldes metanutslipp. For CH₄ er de negative effektene på avlinger størst fra de økte temperaturene, mer enn ozonskadene. Endringer i nedbør har bare marginal effekt på avlingene. Disse tallene gjelder for det globale bildet. Andre studier [23] tyder på at avlingsskader fra ozon, ikke bare fra CH₄-utslipp, men alle ozonforløpere, er langt større i andre regioner enn i Norge.

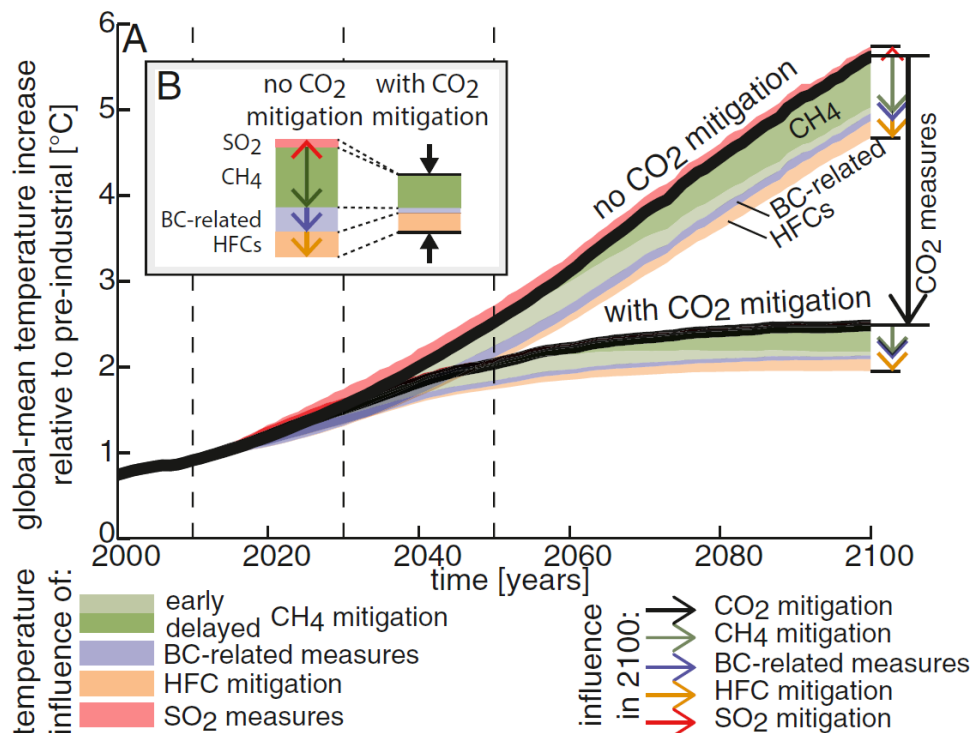
Hvilke vekt faktorer brukes internasjonalt?

Vi har gjennomgått alle Intended Nationally Determined Contributions (INDC-ene) og Nationally Determined Contributions (NDC-ene) og har ikke funnet informasjon om at land har valgt å rapportere utslipp ved bruk av andre vekt faktorer enn GWP (100). Videre har vi sett på om land har vurdert bruk av GWP*. Ingen land nevner GWP* i sine NDC-er. De eneste unntakene fra GWP (100) er Uruguay og Brasil som nevner GTP ved å sitere FNs klimapanel. Uruguay har bestemt seg for å rapportere sine utslipp og utslippskutt på hver enkelt gass fordi de har observert den faglige diskusjonen på vekt faktorer. Brasil rapporterer sine utslipp med både GWP(100) og GTP(100). Disse landene har store utslipp av andre gasser enn CO₂ og er dermed sensitive for endringer av vekt faktorer. New Zealand er et annet land med store utslipp fra landbruket, der CH₄ og N₂O står for store deler av utslippene. Vi har funnet faglige diskusjoner om hvordan bruk av GWP* slår ut på New Zealand, men vi ser ikke at dette har slått direkte ut i politikken deres. For tiden jobber landet med nye klimamål, og det tyder på at de vil dele opp, ved å sette ett mål om netto null for utslipp av CO₂ og N₂O i 2050, mens utslipp av CH₄ skal kuttes i intervallet 24 til 47 %. Denne oppdelingen reflekterer for så vidt at CH₄ er annerledes enn de langlevde gassene, som GWP* nettopp gjør. I klimaforhandlingene i Katowice 2018 ble det bestemt at alle landene må rapportere utslippene med GWP(100), gitt verdiene i den femte hovedrapporten fra FNs klimapanel. Som tidligere vedtatt er det også enighet om at landene i tillegg kan rapportere utslippene med vekt faktorverdier publisert i hovedrapportene fra FNs klimapanel. GWP* kan brukes ved å kombinere GWP-verdier gitt i hovedrapportene med utslippsstatistikk og -historikk for de enkelte land.

Skal metantiltak tas tidlig eller bør vi vente?

Sett fra en naturvitenskaplig synsvinkel vil det være fordelaktig å kutte utslippene raskest mulig og mest mulig for å minimere konsekvensene av høye globale temperaturer på kort og lang sikt. Utslippskutt av CH₄ de neste tiårene vil være effektivt for å redusere oppvarmingshastigheten. Likevel er ikke forskningslitteraturen samlet sett tydelig på om metantiltak bør tas tidlig eller ikke med tanke på å redusere klimaeffektene. Man kan tenke seg å kvantifisere skadene og kostnadene ved raske temperaturøkninger opp mot skadene og kostnadene ved langsiktig stabilisering av temperaturen. Da kan man gjøre kost-nytte betraktninger på om det vil være gunstig å kutte CH₄ tidlig eller sent. Vi kjenner ikke til litteratur som har kvantifisert dette godt. Litteraturen kommer med eksempel på at metantiltak tidlig både kan være en sovepute politisk sett og gi positive synergier opp mot bærekraftsmålene og forsterke utslippskutt [24-27].

Valg av tiltak vil avhenge av hva perspektivet er. Altså om det er stabilisering av den langsiktige oppvarmingen, oppvarmingshastigheten fram til stabilisering eller en kombinasjon av disse. Skal vi redusere oppvarmingen de neste tiårene, slik som i utslippsbaner i tråd med 1,5 °C, vil det være fordelaktig å kutte utslippene av CH₄ raskest mulig i tillegg til å redusere de andre oppvarmende utslippene. Men om man bare ser på temperaturen i 2100 spiller det liten rolle å kutte utslippene av CH₄ i dag, versus å vente i noen tiår (se figur4). Hvis valget går ut på å kutte X tonn CO₂-ekvivalenter, hvor det er valgfritt om man kutter CO₂ eller CH₄, vil svaret på hva man bør kutte først avhenge av perspektivet. I et langsiktig perspektiv vil det være fordelaktig å kutte utslipp av CO₂ raskest mulig fordi CO₂ har en akkumulerende effekt. Men om man kun er interessert i å redusere temperaturen i 2030, vil kutt av CH₄ være mer effektivt.



Figur 4: En studie [28] så på hvordan et sett med tiltak for å redusere utslipp av CO₂ og andre langlevde gasser påvirker andre utslipp. De kortlevde klimadriverne, inkludert CH₄, vil da også reduseres. Lysegrønn og mørkegrønn viser betydning av tidlige tiltak på CH₄ for temperaturutviklingen. I år 2100 vil effekten av tidlige tiltak på CH₄ (lysegrønn) ha en minimal effekt versus å kutte noe senere (mørkegrønn), mens effekten er langt større de første tiårene.

En tilleggsdimensjon er at utslipp av CH₄ kommer fra aktiviteter som til en viss grad også gir andre utslipp. F.eks. henger en del utslipp av CH₄ fra landbruket sammen med utslipp av N₂O. Siden N₂O er en langlevet gass som CO₂, er det en fordel å redusere disse utslippene raskest mulig. Likevel er det få felles kilder av både CO₂ og CH₄, med utvinning av fossile brenslere som et unntak. Legger man mye innsats i å redusere de langlevde klimagassene, vil også utslippene av CH₄ kuttes noe. Studier viser at sterke utslippstiltak, som vil redusere utslippene av CO₂ og andre langlevde gasser kraftig, også vil fjerne minst en tredel av utslippene av CH₄ [28-30] (se figur 4).

Litteraturliste

1. IPCC, *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*, ed. J.T. Houghton, G.J. Jenkins, and J.J. Ephraums. 1990, Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
2. Shindell, D., et al., *A climate policy pathway for near- and long-term benefits*. Science, 2017. **356**(6337): p. 493-494.
3. Shine, K.P., et al., *Alternatives to the Global Warming Potential for Comparing Climate Impacts of Emissions of Greenhouse Gases*. Climatic Change, 2005. **68**: p. 281-302.
4. Shine, K.P., et al., *Comparing the climate effect of emissions of short and long lived climate agents*. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 2007. **365**: p. 1903-1914.
5. Allen, M., et al., *Climate metrics for ruminant livestock*. 2018, Oxford Martin Programme on Climate Pollutants.
6. Myhre, G., et al., *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*, in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, T.F. Stocker, et al., Editors. 2013, Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

7. Allen, M.R., et al., *New use of global warming potentials to compare cumulative and short-lived climate pollutants*. Nature Climate Change, 2016. **6**: p. 773.
8. Allen, M.R., et al., *A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation*. npj Climate and Atmospheric Science, 2018. **1**(1): p. 16.
9. Allen, M., M. Cain, and K. Shine, *Climate metrics under ambitious mitigation*. 2017, Oxford Martin Programme on CLimate Pollutants.
10. Cain, M., et al., *Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants*. npj Climate and Atmospheric Science, 2019. **2**(1): p. 29.
11. Joeri, R. and S. Carl-Friedrich, *Unintentional unfairness when applying new greenhouse gas emissions metrics at country level*. Environmental Research Letters, 2019.
12. Kandlikar, M., *Indices for comparing greenhouse gas emissions: integrating science and economics*. Energy Economics, 1996. **18**: p. 265-281.
13. Tol, R.S.J., et al., *A unifying framework for metrics for aggregating the climate effect of different emissions* Environmental Research Letters, 2012. **7**(4): p. 044006.
14. Balcombe, P., et al., *Methane emissions: choosing the right climate metric and time horizon*. Environmental Science: Processes & Impacts, 2018. **20**(10): p. 1323-1339.
15. Fuglestad, J.S., et al., *Metrics of climate change: Assessing radiative forcing and emission indices*. Climatic Change, 2003. **58**: p. 267-331.
16. Gasser, T., et al., *Accounting for the climate-carbon feedback in emission metrics*. Earth Syst. Dynam., 2017. **8**(2): p. 235-253.
17. Sterner, E.O. and D.J.A. Johansson, *The effect of climate-carbon cycle feedbacks on emission metrics*. Environmental Research Letters, 2017. **12**(3): p. 034019.
18. Muñoz, I. and J.H. Schmidt, *Methane oxidation, biogenic carbon, and the IPCC's emission metrics. Proposal for a consistent greenhouse-gas accounting*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2016. **21**(8): p. 1069-1075.
19. CCAC, *Science advisory panel report on metrics & inventory development workshop, 16 - 17 March 2017 - Ottawa, Canada*. 2017, Climate & Clean Air Coalition.
20. Aamaas, B., *Developing, evaluating, and applying emission metrics for the assessment of the climate impact of transportation*, in *Faculty of Mathematics and Natural Sciences*. 2016, University of Oslo.
21. Emberson, L.D., et al., *Ozone effects on crops and consideration in crop models*. European Journal of Agronomy, 2018. **100**: p. 19-34.
22. Shindell, D.T., *Crop yield changes induced by emissions of individual climate-altering pollutants*. Earth's Future, 2016. **4**(8): p. 373-380.
23. Mills, G., et al., *Closing the global ozone yield gap: Quantification and cobenefits for multistress tolerance*. Global Change Biology, 2018. **24**(10): p. 4869-4893.
24. Myhre, G., et al., *Mitigation of short-lived heating components may lead to unwanted long-term consequences*. Atmospheric Environment, 2011. **45**(33): p. 6103-6106.
25. Pierrehumbert, R., *Short-Lived Climate Pollution*. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2014. **42**: p. 341-379.
26. Bowerman, N.H.A., et al., *The role of short-lived climate pollutants in meeting temperature goals*. Nature Clim. Change, 2013. **3**(12): p. 1021-1024.
27. Wallack, J.S. and V. Ramanathan, *The Other Climate Changers: Why Black Carbon and Ozone Also Matter*. Foreign Affairs, 2009. **88**(5): p. 105-113.
28. Rogelj, J., et al., *Disentangling the effects of CO₂ and short-lived climate forcer mitigation*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014. **111**(46): p. 16325-16330.
29. Shindell, D. and C.J. Smith, *Climate and air-quality benefits of a realistic phase-out of fossil fuels*. Nature, 2019. **573**(7774): p. 408-411.
30. IPCC, *Summary for policymakers*, in *GLOBAL WARMING OF 1.5 °C an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, M. Allen, et al., Editors. 2018, Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.