

# Metodikk for framstilling av klimaeffekt på kort og lang sikt



# Metodikk for framstilling av klimaeffekt på kort og lang sikt

12. mars 2021

Borgar Aamaas  
Terje K. Berntsen

---

**CICERO** Senter for klimaforskning  
P.B. 1129 Blindern, 0318 Oslo  
Telefon: 22 00 47 00  
E-post: [post@cicero.oslo.no](mailto:post@cicero.oslo.no)  
Nett: [www.cicero.oslo.no](http://www.cicero.oslo.no)

**CICERO** Center for International Climate Research  
P.O. Box 1129 Blindern  
N-0318 Oslo, Norway  
Phone: +47 22 00 47 00  
E-mail: [post@cicero.oslo.no](mailto:post@cicero.oslo.no)  
Web: [www.cicero.oslo.no](http://www.cicero.oslo.no)

---

**Tittel:** Metodikk for framstilling av klimaeffekt på kort og lang sikt

---

**Forfattere:** Borgar Aamaas og Terje K. Berntsen

---

**Finansiert av:** Miljødirektoratet

---

**Prosjekt:** Metodikk for framstilling av klimaeffekt på kort og lang sikt

---

**Prosjektleder:** Borgar Aamaas

---

**Kvalitetssikrere:** Terje K. Berntsen og Asbjørn Torvanger

---

**Nøkkelord:** Vektfaktor, utslipp, GWP, GTP, GWP\*, Norge, temperatur, kostnadsberegninger, tiltakskostnad

---

**Sammendrag:** CICERO Senter for klimaforskning har på oppdrag fra Miljødirektoratet utviklet og illustrert metodikk for framstilling av klimaeffekt på kort og lang sikt. Vi har vurdert klimaeffekt på to forskjellige måter, med vektfactorer og med en veldig enkel klimamodell for å estimere temperaturbaner av utslippsbaner og utslippstiltak. Analysen bygger på tidligere arbeid CICERO har gjort for Miljødirektoratet. Mandatet CICERO fikk var analysearbeid på disse fire temaene: 1) Vurdering av behovet for å oppdatere GTP(10)-faktoren Miljødirektoratet i dag benytter. 2) Beregne norske utslipp med GTP(10), AGTP, GWP\* og eventuelt andre vektfactorer for ulike tidshorisonter. 3) Metodikk for framstilling av klimaeffekt på kort og lang sikt av ulike utslipp/utslippsreduksjoner i samme figur. 4) Metodikk for kostnadsberegninger.

---

**Språk:** Norsk

---

**Bildet på omslaget:** Donald Giannatti (@wiznow)

---

# Innholdsfortegnelse

---

<b>1</b>	<b>Sammendrag</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Summary</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Introduksjon</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>GTP(10)-faktorer Miljødirektoratet bruker i dag</b> .....	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Tidligere relevante rapporter fra CICERO</b> .....	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Vurdering av behovet for å oppdatere GTP(10)-faktorene Miljødirektoratet i dag benytter</b> .....	<b>15</b>
	6.1 Vurdering av å endre verdiene av GTP(10)	15
	6.2 Vurdering av å endre verdiene fra GTP(10) til en annen vektfaktor	16
<b>7</b>	<b>Beregninger av norske utslipp med ulike vektfactorer</b> .....	<b>18</b>
	7.1 Vektfactorverdier	18
	7.2 Klimaeffekten av norske utslipp	22
<b>8</b>	<b>Framstille klimaeffekt på kort og lang sikt i samme figur</b> .....	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>Metodikk for kostnadsberegninger</b> .....	<b>42</b>
	9.1 Beregning på tiltak fra Klimakur	43

# 1 Sammendrag

CICERO Senter for klimaforskning har på oppdrag fra Miljødirektoratet utviklet og illustrert metodikk for framstilling av klimaeffekt på kort og lang sikt. Vi har vurdert klimaeffekt på to forskjellige måter, med vektfaktorer og med en veldig enkel klimamodell for å estimere temperaturbaner av utslippsbaner og utslippstiltak. Analysen bygger på tidligere arbeid CICERO har gjort for Miljødirektoratet. I dag bruker Miljødirektoratet vektfaktoren GTP(10), Norge<sup>1</sup> for å vurdere klimaeffekt på kort sikt og ellers vektfaktoren GWP(100)<sup>2</sup>. Mandatet er begrenset til disse fire temaene:

1. Vurdering av behovet for å oppdatere GTP(10)-faktoren Miljødirektoratet i dag benytter
2. Beregne norske utslipp med GTP(10), AGTP, GWP\* og eventuelt andre vektfaktorer for ulike tidshorisonter
3. Metodikk for framstilling av klimaeffekt på kort og lang sikt av ulike utslipp/utslippsreduksjoner i samme figur
4. Metodikk for kostnadsberegninger

GTP(10)-verdiene Miljødirektoratet bruker i dag er compatible med eller utregnet basert på FNs klimapanelers fjerde hovedrapport. Fra og med 2023 skal Norge rapportere sine utslipp med bruk av FNs klimapanelers femte hovedrapport. Vi anbefaler derfor at verdier for GTP(10) oppdateres tilsvarende. I rapporten presenterer vi vektfaktorverdier som er konsistente med den femte hovedrapporten. Vi anbefaler ikke nye modellutregninger av GTP(10) for norske utslipp av aerosoler og ozonforløpere nå, men at dette kan vært relevant hvis den sjettede hovedrapporten gjør større justeringer i klimaeffekten for enkelte av disse komponentene. Miljødirektoratet kan potensielt vurdere å gå bort fra vektfaktoren GTP(10) når de ser på klimaeffekt på kort sikt, men vi mener Miljødirektoratet hadde en grundig prosess på dette i 2013.

GWP\* tar utgangspunkt i at en permanent endring i utslippene av kortlevde klimadrivere gir en lignende temperaturrespons som en engangs endring av utslippene av langlevde klimagasser, vanligvis CO<sub>2</sub>. GWP\* gir dermed en bedre forståelse enn GWP(100) av hvilken temperaturendring en framskrivning av utslipp av kortlevde klimadrivere gir og passer derfor bedre til analyser med temperaturmål. Gitt at vi vet hvor stor endringen i utslippet er kan vi med GWP\* bedre beregne CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslipp for de kortlevde klimadriverne.

---

<sup>1</sup> GTP(10) står for vektfaktoren Global Temperature change Potential med en tidshorison på 10 år etter utslipp.

<sup>2</sup> GWP(100) står for vektfaktoren Global Warming Potential med en tidshorison på 100 år etter utslipp.

For de langlevde klimagassene er verdier for GWP\* de samme som for GWP(100). Metoden kan brukes for alle kortlevde klimadrivere, mens foreløpig har litteraturen på GWP\* fokusert på metan. I de vitenskapelige artiklene som presenterer GWP\* er det ikke etablert en klar grense i form av levetid mellom de kortlevde og langlevde klimadriverene, men de langlevde har typisk lengre levetid enn tidshorizonten i analysen. Ved utslippsreduksjoner av metan eller andre kortlevde klimadrivere som er om lag  $-1/3$  %/år, blir de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene null, som betyr at metan da ikke bidrar til noen ytterligere temperaturendringer. Oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp basert på GWP\* kan være negative, dvs. at kuttene gir redusert global oppvarming. Jo hurtigere utslippsreduksjonen gjennomføres, jo høyere negative oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp. Om hele metanutslippet kuttes umiddelbart og permanent, vil et kutt på 1 tonn metan i årlige utslipp tilsvare en engangsreduksjon på 2100 tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp. For økte utslipp av metan teller hvert nye tonn/år med metan som 2100 oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp. I tillegg må også utslippene som fortsetter fra tidligere år inkluderes. Disse konstante utslippene telles som 7 tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp per tonn metan. Den vitenskapelige litteraturen på GWP\* har i liten grad sett på hvordan GWP\* kan operasjonaliseres på utslippsreducerende tiltak.

Vi har vektet norske utslipp av 22 forskjellige komponenter med bruk av diverse vekt faktorer, der alle er en variant av GWP eller GTP. Miljødirektoratet har bistått med utslippsdata for historiske utslipp 1990-2018 og framskrivinger framover mot 2030 basert på en referansebane i tråd med Klimakur 2030. I tillegg har vi vurdert ti tiltak fra Klimakur. For GWP\* har vi supplert med utslippsoverslag fra CICERO for metan fra jordbruket fra årene før 1990. Utslippskomponentene vi har vurdert er:

- CO<sub>2</sub>
- Lystgass (N<sub>2</sub>O)
- Metan (CH<sub>4</sub>)
- Svovelheksafluorid (SF<sub>6</sub>)
- Perfluorkarboner (PFK), 3 ulike komponenter
- Hydrogenfluorkarboner (HFK), 9 ulike komponenter
- Aerosoler: Sort karbon (BC), organisk karbon (OC) og svoveldioksid (SO<sub>2</sub>)
- Ozonforløpere: Nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>), karbonmonoksid (CO) og flyktige organiske stoffer med unntak av metan (NMVOC)

Dette er en miks av langlevde klimagasser og kortlevde klimadrivere og av oppvarmende og nedkjølede komponenter. Vi har også vurdert hvordan dette påvirker sektorene olje- og gassutvinning, industri og bergverk, energiforsyning, oppvarming, veitrafikk, annen transport (luftfart, sjøfart, fiske), jordbruk og andre kilder. En tidsserie på 40 år er nokså kort og med en lengre tidsserie hadde vi fått et bedre bilde av i hvor stor grad utslipp fra Norge har bidratt til global oppvarming og hvilke utslippskilder som har bidratt mest. For alle variantene av vekt faktorer vi bruker på norske utslipp, er CO<sub>2</sub> det utslippet som gir det største bidraget fordi det slippes så mye ut av det. Ved kortere tidshorisonter bidrar de kortlevde klimadriverne med en større andel av klimaeffekten og ved lengre tidshorisonter får CO<sub>2</sub> og andre langlevde klimagasser større andel. Beregningene av GWP\* avhenger både av hvor store utslippene er og hvor fort de endres. GWP\* skiller seg således ut fra de andre vekt faktorene ved at de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene utslippene av de kortlevde klimadriverne også styres av endring i utslipp. Dersom et tiltak medfører en markert nedgang i utslippene (mer enn  $-1/3$  %/år), vil de oppvarmende komponentene gi en redusert oppvarming og de nedkjølede komponentene en økt oppvarming når GWP\* benyttes.

Hovedargumentet for å bruke GWP\* er at vekt faktoren vurderer bidraget til global oppvarming når oppvarmingen er på sitt største (såkalt «peak warming») og at det kan hevdes at det er det verden bør bry seg om med tanke på å minimere de negative konsekvensene av klimaendringer. Beregningen av GWP\* inneholder flere usikre parametere, og en implisitt antagelse om permanente tiltak på kortlevde klimadrivere. I tillegg til at det også krever mer informasjon for å bruke denne vekt faktoren enn de andre vekt faktorene vi har vurdert. For bruk av GWP\* på tiltak må vi ha



utslippsstatistikk over tid. Tiltak og målsetninger kan i prinsippet operasjonaliseres ved å sette forpliktelser i oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp med bruk av GWP\*. Men dette vil kreve betydelig bevisstgjøring hos myndighetene om hvilke implisitte verdivalg som ligger i GWP\*-konseptet, som at det da antas permanente tiltak som binder opp framtidige generasjoner og at utslipp vektas opp mot å redusere global oppvarming på sitt største, ikke veien ditt.

Vi har også regnet på de norske utslippene, med et spesielt fokus på jordbruksutslipp. De norske årlige CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene blir noe lavere med GWP\* enn med GWP(100). GWP\* viser at det norske jordbruket bidrar til forsterket global oppvarming gjennom hele tidsperioden vi så på (1990-2030). Det gjelder også for klimagassene metan, lystgass og CO<sub>2</sub> individuelt. Ved konstante utslipp av metan vil jordbruket bidra med ca. 0,7 millioner tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp hvert eneste år med GWP\*, mot i underkant av 3 millioner CO<sub>2</sub>-ekvivalenter med GWP(100). Forskjellen mellom GWP\* og GWP(100) for tidsperioden 1990-2030 er at metan tar en større andel av de CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene med GWP(100) og lystgass størst andel med GWP(100). Men begge alternativene viser at norsk jordbruk bidrar med CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslipp på plussida slik utslippssituasjonen er nå (i underkant av 5 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter med GWP(100) og ca. 2-3 millioner tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp med GWP\*). Om vi hypotetisk sett ser for oss at metan-utslippene fra jordbruket forsvant fra et år til et annet og ble værende i null for evig tid, ville det ha bidratt til en reduksjon i global oppvarming tilsvarende ca. 220 millioner tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp utregnet med GWP\*.

For å vurdere klimaeffekter på kort og lang sikt i en framstilling, foreslår vi å vise temperaturutviklingen over tid basert på vekt faktoren Absolute global temperature change potential (AGTP). Dynamisk AGTP er en bedre metode enn å bruke GWP, GTP og GWP\*, men krever litt mer beregninger da verdien av AGTP varierer over tid (er dynamisk) i motsetning til de andre vekt faktorene vi har vurdert. Med AGTP kan vi enkelt se hva effekten på global temperatur er av det enkelte tiltak og hvordan det varierer med tid. Vi har analysert ti klimatiltak fra Klimakur og sett spesifikt på temperatureffekten i 2040 som et mål på kort sikt og temperatureffekten i 2100 som et mål på lang sikt.

For kostnadsberegninger følger vi den metodikken som Miljødirektoratet bruker i dag. Det vanlige er å estimere den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden (kr/tonn) som en brøk med nåverdien av kostnaden over streken og utslippsendringer i forhold til referansebanen utregnet med vekt faktoren GWP(100) under brøkstreken. En alternativ kostnadsberegning i tråd med å kvantifisere klimaeffekt på henholdsvis kort og lang sikt med AGTP kan gjøres ved å sette kostnaden opp mot hvor stor effekt tiltaket har på den globale temperaturen i henholdsvis 2040 og 2100. Benevnningen blir da henholdsvis kr/°C i 2040 og kr/°C i 2100. Siden effekten av de enkelte norske tiltakene på den globale temperaturen selvfølgelig blir svært liten, oppgis tiltakskostnaden med benevnningen millioner kr per milliondels grad. Milliondels grader kan høres som veldig lite, men det er viktig å være klar over at å redusere den globale temperaturen med 1 °C krever enorme utslippsreduksjoner. Det å klare å begrense den globale oppvarmingen til 1,5 eller 2 °C vil kreve en stor internasjonal dugnad, hvor enkelttiltakene som gjøres i Norge eller i andre enkeltland vil være små sett i den store sammenhengen, men likevel sentral som en del av dugnaden hvor alle må bidra. Vi har regnet på tiltakskostnader basert på detaljerte anslag Miljødirektoratet har gitt oss for fem av tiltakene i Klimakur 2030 og viser dermed hva som er typiske tiltakskostnader med denne framgangsmåten. Forskjellen i tiltakskostnad i 2040 og 2100 er relativt liten for tiltak som domineres av CO<sub>2</sub>-utslippskutt og er stor for tiltak som i hovedsak reduserer utslippene av metan, sort karbon og andre oppvarmende kortlevde klimadrivere, der tiltakskostnaden blir lavest i 2040. En utfordring er at denne metodikken krever detaljert datagrunnlag for kostnader og utslippsreduksjoner for hele tiltakets levetid, noe som ofte ikke er tilgjengelig. I dette prosjektet har vi derfor i tillegg sett på en forenklet metode for å regne ut tiltakskostnader, men vi vil ikke anbefale å bruke dette alternativet fordi forenklingene fører til store usikkerheter. For å komme videre må det arbeides mer med forenklede metoder og/eller datagrunnlaget vesentlig forbedres.

## 2 Summary

The Norwegian Environment Agency has asked CICERO Center for International Climate Research to develop and demonstrate a methodology for the presentation of climate impact in both the short and long term. Today, the Norwegian Environment Agency uses the emission metric GTP(10),<sup>3</sup> Norway<sup>3</sup> to evaluate climate impact in the short term and the emission metric GWP(100)<sup>4</sup> in other circumstances.

At present, CICERO does not recommend the Environment Agency to update the calculations of GTP(10) for the Norwegian emissions of aerosols and ozone precursors. However, that could become relevant if the sixth assessment report from the IPCC suggests large changes in the climate effect for the components. The Norwegian Environment Agency may consider to replace the emission metric GTP(10) with another emission metric when evaluating climate impacts on short time horizons. In our view, the Norwegian Environment Agency evaluated this matter thoroughly in 2013.

The metric GWP\* uses a different approach. It estimates that a permanent change in emissions from a short-lived climate forcer yields the same temperature response as a one-off pulse change of the emissions of long-lived greenhouse gases, normally CO<sub>2</sub>. Compared to GWP(100), GWP\* provides a better understanding of changes in temperature following a projection of emissions of short-lived climate forcers. GWP\* also fits better with analysis related to temperature targets. With enough available emission data and using GWP\*, we can better estimate the CO<sub>2</sub>-warming-equivalent emissions of the short-lived climate forcers.

For the long-lived greenhouse gases, the metric values with GWP\* are the same as for GWP(100). On the other hand, emission reductions of methane and other short-lived climate forcers by about -1/3%/year, yields zero temperature change. In other words, the CO<sub>2</sub>-warming-equivalent emission effect is zero. Using GWP\*, the warming from CO<sub>2</sub> equivalent emission can also be negative, so that emissions cuts result in a reduced global warming.

To apply GWP\* on mitigation measures, you need to have emission statistics over some time. Calculations of GWP\* are influenced by the speed and size of emission cuts. GWP\* stands out from the other emission metrics in that CO<sub>2</sub>-warming-equivalent emissions of the short-lived climate forcers are also influenced by the change in emission rates. If a given mitigation measure leads to a marked decline in emissions (of more than -1/3%/year), the reduction of these warming components will lead to reduced global warming. Similarly, an emission reduction of cooling components will cause warming when GWP\* is applied.

Calculations of GWP\* involve several uncertain parameters and an implicit assumption that the mitigation measures for emissions of short-lived climate forcers are permanent. In addition, this emission metric requires the input of more information than emission metrics we have assessed.

We have applied various emission metrics on Norwegian emissions, with special attention to agricultural emissions. The annual Norwegian CO<sub>2</sub> equivalent emissions are somewhat lower with

---

<sup>3</sup> GTP(10) stands for the emission metric Global Temperature change Potential with a time horizon of 10 years after emission.

<sup>4</sup> GWP(100) stands for the emission metric Global Warming Potential with a time horizon of 100 years after emission.



GWP\* than with GWP(100). However, GWP\* shows that the Norwegian agriculture is contributing to additional global warming throughout the period we investigated (1990-2030).

To evaluate short-term and long-term climate impacts in one illustration, we recommend showing the temperature development over time based on the emission metric *Absolute Global Temperature change Potential* (AGTP). With AGTP, we can easily detect the impact each mitigation measure has on the global temperature and how this varies over time. We have analyzed ten mitigation measures from “Mitigation analysis for Norway up to 2030” and specifically looked at the temperature effect in 2040 (short-term goal) and 2100 (long-term goal).

An alternative cost calculation relative to the standard used today, which would be in line with estimating the climate impact on short-term and long-term based on AGTP, can be done by setting up the cost of the mitigation measure relative to the impact on the global temperature in 2040 and 2100, respectively. The unit is then, NOK/°C in 2040 and in 2100, respectively. Since the impact of individual Norwegian mitigation measures on the global temperature is very small, we suggest that the economic cost is given with the unit million NOK per millionth of a degree. The difference in economic cost in 2040 and 2100 is relatively small for mitigation measures that is dominated by CO2 emissions and large for measures mainly reducing the emissions of methane, black carbon, and other warming short-lived climate forcers, in which the cost is lowest in 2040.

## 3 Introduksjon

Miljødirektoratet har gitt CICERO Senter for klimaforskning i oppdrag i å utvikle og illustrere metodikk for framstilling av klimaeffekt på kort og lang sikt. Dette har vi gjort ved å vurdere vektfactorer med konstante verdier og ved å bruke en veldig enkel klimamodell for å regne ut temperaturbaner av utslippsbaner og utslippstiltak. Utgangspunktet er vektfactorverdier for GTP(10)<sup>5</sup> for utslipp i Norge som Miljødirektoratet i dag bruker, som er igjen basert på flere rapporter fra CICERO (Hodnebrog et al., 2014; Aamaas et al., 2015). Miljødirektoratet har konkret spurt etter:

1. Vurdering av behovet for å oppdatere GTP(10)-faktoren Miljødirektoratet i dag benytter
2. Beregne norske utslipp med GTP(10), AGTP, GWP\* og eventuelt andre vektfactorer for ulike tidshorisonter
3. Metodikk for framstilling av klimaeffekt på kort og lang sikt av ulike utslipp/utslippsreduksjoner i samme figur
4. Metodikk for kostnadsberegninger

Disse punktene drøftes kronologisk i denne rapporten. Men aller først en gjennomgang av hvilke vektfactorer Miljødirektoratet bruker i dag og hva vi har levert til Miljødirektoratet tidligere på tematikken.

---

<sup>5</sup> GTP(10) står for vektfactoren Global Temperature change Potential med en tidshorisonst på 10 år etter utslipp.

## 4 GTP(10)-faktorer

# Miljødirektoratet bruker i dag

For den offisielle utslippsstatistikken i Norge brukes i dag vekt faktoren GWP(100)<sup>6</sup> med verdier fra FNs klimapanel fjerde hovedrapport (IPCC, 2007) for klimagassene som dekkes av det internasjonale rammeverket. Disse verdiene er gitt i vedlegg 2 på s. 521 av Klimakur (Miljødirektoratet et al., 2020). Fra 2023 vil verdier fra den femte hovedrapporten brukes (Myhre et al., 2013).

For klimaeffekter på kort sikt har Miljødirektoratet gjort noe annet i tillegg, hvor utslippene vektet med ett sett med vekt faktorverdier med GTP(10) for alle utslippskomponentene, ikke bare klimagassene. Verdiene er gitt i Tabell 1 og Tabell 2, hentet fra Miljødirektoratet (2013); Miljødirektoratet (2015). Dette datasettet er kompatibelt med, eller bruker parametere fra, FNs klimapanel fjerde hovedrapport (IPCC, 2007). Disse verdiene har CICERO tidligere beregnet for Miljødirektoratet, se spesielt Hodnebrog et al. (2014); Aamaas et al. (2015) (mer om dette i seksjon 5). For aerosolene og ozonforløperne er vekt faktorverdiene utregnet spesifikt for norske utslipp (derav begrepet GTP(10),Norge), da disse verdiene varierer etter stedet utslippet skjer.

---

<sup>6</sup> GWP(100) står for vekt faktoren Global Warming Potential med en tidshorisont på 100 år etter utslipp.

**Tabell 1:** Vektfaktorverdier som Miljødirektoratet bruker for norske utslipp av diverse klimagasser, aerosoler og ozonforløpere. Denne tabellen er Tabell V8.1 i en rapport fra Miljødirektoratet (2013).

Komponent	GTP10, Norge	GTP20, Norge	GTP100, Norge	GTP10, global	GTP100, global	GWP10, Norge	GWP 100, global	GWP10, global
CO <sub>2</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
N <sub>2</sub> O	279	303	265	279	265	273	299	273
CH <sub>4</sub>	86	57	4	86	4	91	25	91
NO <sub>x</sub>	-28	-24	-1	<sup>1</sup> -53	-2	-17	<sup>16</sup> -15	<sup>1</sup> -23
NO <sub>x</sub> (overflate) <sup>17</sup>	-28	-24	-1	<sup>1</sup> -38	-2	-17	<sup>1</sup> -11	<sup>1</sup> -12
NO <sub>x</sub> (fly)	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	346	7	Ikke tilgjengelig	69	1098
NO <sub>x</sub> (shipping) <sup>18</sup>	-28	-25	-1	-132	-6	-18	-37	-85
CO	9	5	0,3	7	0,3	10	2	9
nmVOC	14	6	0,5	10	0,4	20	3	14
BC (direkte atmosfære- og albedoeffekt)	2914	851	118	1899	77	5309	544	3459
OC	-62	-18	-2	-246	-10	-112	-70	-448
NH <sub>3</sub>	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	-80	-3	Ikke tilgjengelig	-23	-145
SO <sub>2</sub> (kun direkte effekt)	-74	-22	-3	-142	-6	-135	-41	-259
SO <sub>2</sub> (kun direkte effekt, shipping) <sup>2</sup>	-67	-20	-3	-152	-6	-123	-44	-277
SO <sub>2</sub> (direkte og indirekte effekt)	-204	-59	-8	-390	-16	-371	-112	-712
SO <sub>2</sub> (shipping direkte og indirekte effekter)	-185	-54	-8	-418	-17	-338	-120	-763
HFK-23	11354	12779	15983	11354	15983	11045	14784	11045
HFK-32	3180	1263	96	3180	96	3733	675	3733
HFK-125	6700	6044	1130	6700	1130	6712	3504	6712
HFK-134	4231	2501	161	4231	161	4532	1101	4532
HFK-134a	4470	3176	230	4470	230	4640	1428	4640
HFK-143	1682	563	50	1682	50	2110	352	2110
HFK-143a	5903	5927	2587	5903	2587	5828	4472	5828
HFK-152a	514	148	18	514	18	789	124	789
HFK-227ea	5508	5153	1254	5508	1254	5491	3222	5491

<sup>17</sup> Summen av regionene på «Øst», «Vest» og «Nord» tilsvarer utslipp fra land siden disse regionene ikke inkluderer utslipp fra shipping eller fly.

<sup>18</sup> Verdiene for GTP10 og GWP10, Norge er hentet fra regionen «Offshore» i Hodnebrog m. fl. (2013).

Regionen «offshore» har større utslipp fra petroleumssektoren enn shippingsektoren. Siden utslippene fra petroleum- og shippingsektoren finner sted i samme område, er det likevel akseptabelt å gjøre regionen «Offshore» representativ for shippingsektoren.

**Tabell 2:** Vektfaktorverdier (GTP(10),Norge) som Miljødirektoratet bruker for norske utslipp av diverse klimagasser, aerosoler og ozonforløpere. Denne tabellen er Tabell V4.1 i en rapport fra Miljødirektoratet (2015).

<b>GTP<sub>10, Norge</sub></b>	
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	86
N <sub>2</sub> O	279
<b>NO<sub>x</sub></b>	-28
<b>SO<sub>2</sub></b>	-74
CO	9
<b>BC</b>	2914
HFK-152a	514
HFK-227ea	5508
HFK-134	4231
HFK-134a	4470
HFK-143	1682
HFK-143a	5903
<b>OC</b>	-62
SF <sub>6</sub>	15144
CF <sub>4</sub>	4850
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	8040
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	5890
HFK-23	11354
HFK-32	3180
HFK-125	6700

## 5 Tidligere relevante rapporter fra CICERO

I 2013 utførte CICERO, på oppdrag fra Miljødirektoratet, utregninger av vektfaktorverdier<sup>7</sup> for norske utslipp av diverse klimagasser, aerosoler og ozonforløpere (Hodnebrog et al., 2014). For aerosolene og ozonforløpere ble det gjort spesifikke modellutregninger for utslipp i Norge, se Tabell 3. I tillegg ble det utregnet vektfaktorverdier for en rekke klimagasser (se Tabell 4), inkludert HFKer og PFKer, basert på FNs klimapanelers fjerde hovedrapport (IPCC, 2007) og for HFKene også utregnet verdier hentet fra Hodnebrog et al. (2013)<sup>8</sup>. De siste årene har det vært mye forskning på å fastsette hvor stor klimaeffekten er for ulike utslipp. Fordi kunnskapsgrunnlaget for aerosoler utviklet seg raskt, leverte CICERO en oppfølging i 2015 hvor vi vurderte om vektfaktorene for sort karbon og organisk karbon i Hodnebrog et al. (2014) burde revideres (Aamaas et al., 2015). Denne rapporten anbefalte å redusere vektfaktorverdiene<sup>9</sup> for sort karbon med 7 % når ny kunnskap om den semidirekte effekten for sort karbon var tatt hensyn til. Ingen endringer ble foreslått for GTP(10)-verdien for organisk karbon. Disse to rapportene er grunnlaget for GTP(10)-verdiene Miljødirektoratet bruker i dag.

**Tabell 3:** Modellutregninger ble gjort spesifikt for utslipp av disse komponentene i Norge (Hodnebrog et al., 2014) for å estimere GTP(10)-verdier for norske utslipp.

Aerosoler	Ozonforløpere
BC	NO <sub>x</sub>
OC	CO
SO <sub>2</sub>	NM <sub>10</sub> VOC

**Tabell 4:** I Hodnebrog et al. (2014) ble vektfaktorverdier også utregnet for disse komponentene, alle gasser som er inkludert i Kyotoavtalen, basert på FNs klimapanel fjerde hovedrapport (IPCC, 2007).

Kyotogasser
CH <sub>4</sub>
HFK-23
HFK-32
HFK-125
HFK-134
HFK-134a
HFK-143
HFK-143a
HFK-152a
HFK-227ea

<sup>7</sup> Rapporten dekte vektfaktorene GWP(20), GWP(100), GWP(500), GTP(5), GTP(10), GTP(20) og GTP(50).

<sup>8</sup> Vektfaktorverdiene Hodnebrog et al. (2013) produserte for en rekke syntetiske gasser ble også de som ble brukt i FNs klimapanel femte hovedrapport.

<sup>9</sup> Rapporten så bare på GTP(10), men den relative endringen vil være den samme for alle andre GTPer og GWPer med ulike tidshorisonter.



I etterkant har CICERO utført flere studier for Miljødirektoratet på den samme tematikken. I 2018 oppsummerte vi kunnskapsstatus på metan (Aamaas and Myhre, 2018), hvor vi oppjusterte vektfaktorverdier for metan med 14 % fra det som ble publisert i den femte hovedrapporten (Myhre et al., 2013), gitt ny kunnskap om at metan også absorberer kortbølget stråling i betydelig grad (Etminan et al., 2016). Dette kommer på toppen av økningen mellom den fjerde og femte hovedrapporten fra FNs klimapanel (IPCC, 2007; Myhre et al., 2013).

## 6 Vurdering av behovet for å oppdatere GTP(10)-faktorene Miljødirektoratet i dag benytter

Denne seksjonen svarer ut Miljødirektoratets første oppgave. Det er to ulike vurderinger som kan gjøres her. Hovedspørsmålet er om kunnskapen bak har endret seg, slik at GTP(10)-verdien har endret seg. Tilleggsspørsmålet er om det har kommet ny kunnskap som viser at andre vekt faktorer kan være mer relevante.

### 6.1 Vurdering av å endre verdiene av GTP(10)

GTP(10)-verdiene Miljødirektoratet bruker i dag er kompatible med eller utregnet basert på FNs klimapanelens fjerde hovedrapport (IPCC, 2007). Gitt endringer ved bruk av GWP(100), hvor Norge noen år fram i tid (2023) skal rapportere klimagassutslipp med bruk av FNs klimapanelens femte hovedrapport, anbefaler vi at GTP(10) oppdateres tilsvarende og vi presenterer her verdier som er i tråd med den femte hovedrapporten (Myhre et al., 2013). Endringer i CO<sub>2</sub> påvirker alle andre komponenter siden CO<sub>2</sub> er nevneren i alle normaliserte vekt faktorer (som i GTP og GWP). I den femte hovedrapporten (Myhre et al., 2013) er det i hovedsak gjort to justeringer på CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i atmosfæren og karbonsyklusen, som virker i hver sin retning. CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen er noe høyere i atmosfæren, noe som gjør at utslipp per enhet nå har en noe svakere effekt enn tidligere. I tillegg ble det gjort nye modellkjøringer av karbonsyklusen, hvor modellen er forbedret og tar med flere prosesser og dessuten inkluderer det høyere nivået av CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Disse endringene i karbonsyklusen fører til at en større fraksjon av CO<sub>2</sub> blir værende noe lengre i atmosfæren. Summen av disse to effektene er en liten forsterkning av CO<sub>2</sub>, som gjør at alle normaliserte vekt faktorer for alle andre komponenter blir noe lavere, i størrelsesorden noen få prosent.

Vi forventer også oppdateringer og endringer fra FNs klimapanelens sjette hovedrapport. På generell basis kan vi anta at vekt faktorverdiene vil være noe annerledes enn i den femte hovedrapporten fra 2013, som igjen var noe forskjellig fra den fjerde hovedrapporten fra 2007. For eksempel har det vært vanlig ved hver hovedrapport å oppdatere oppvarmingseffekten av CO<sub>2</sub> ved at CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i atmosfæren oppjusteres for å reflektere siste status. Noen andre endringer kan forventes, men vi vet ikke hvor mye som vil endres og vi kan heller ikke fastslå i dag hvor stor effekt disse endringene vil ha. Om det er større endringer, vil GTP(10)-verdiene for norske utslipp også måtte revideres. Uansett kan vi fastslå at i de senere årene har det vært stor forskningsaktivitet, f.eks. på forståelse av aerosol-sky-koblingen. Men gitt usikkerhetene anbefaler vi ikke å endre på GTP(10) for aerosolene ved nåværende tidspunkt, bare CO<sub>2</sub>-delen for å være i tråd med FNs klimapanel femte hovedrapport. For ozonforløperne har vi samme vurdering, hvor det ikke er hensiktsmessig å endre verdiene siden endringene ansees som små i forhold til usikkerhetene. For HFKene kan vi forvente at disse vekt faktorverdiene vil oppdateres i den sjette hovedrapporten.

Konklusjonen vår er altså at vi for alle komponenter endrer GTP(10)-verdien for å være i tråd med FNs klimapanel femte hovedrapport (Myhre et al., 2013). For Kyotogassene gjengir vi bare verdiene fra FNs klimapanel femte hovedrapport. Videre for utslipp av aerosoler og ozonforløpere i Norge justerer vi bare CO<sub>2</sub>-delen i GTP(10), som gir en svak reduksjon. Siden 2013 har studier vist

at metan har en sterkere klimaeffekt enn tidligere antatt. I utregningene våre i denne rapporten vil vi bruke verdier for metan fra den femte hovedrapporten fra FNs klimapanel (Myhre et al., 2013), men vi vil samtidig presentere enn noe høyere GTP(10) som reflekterer funnene i Etminan et al. (2016).

Fra den fjerde til den femte hovedrapporten fra FNs klimapanel ble GWP(100)-verdien for metan oppjustert fra 25 til 28 (Myhre et al., 2013). I ettertid oppdaget Etminan et al. (2016) at metan har et 25 % større direkte strålingspådriv enn antatt i den femte hovedrapporten. Som vi skrev i Aamaas and Myhre (2018), er hovedårsaken at studien tok hensyn til at metan også absorberer stråling i det kortbølgete delen av spektret (dvs. nær infrarød stråling fra sola), samt andre mindre oppdateringer i absorpsjonsdata. Siden metan har en del indirekte effekter (f.eks. dannelse av ozon) som ikke påvirkes av at det direkte strålingspådrivet til metan selv er økt med 25 %, blir da nettoøkningen mindre, her beregnet til 14 %. Andre justeringer kan også forventes i den sjette hovedrapporten, men vi kan ikke kvantifisere hvor stor de eventuelt blir. Ved å inkludere oppjusteringen fra den femte hovedrapporten og absorpsjonen i det kortbølgete delen av spektret øker GTP(10)-verdien for metan fra 86 i bruk nå av Miljødirektoratet til 114, mot 100 ved å være i tråd med FNs klimapanel's femte hovedrapport.

Nye utregninger for GTP(10) for norske utslipp av aerosoler og ozonforløpere vil være ressurskrevende og kreve modellkjøringer tilsvarende det som ble gjort av Hodnebrog et al. (2014). Vi anbefaler ikke å gjøre et sånt arbeid nå, men det kan være relevant hvis den sjette hovedrapporten gjør større justeringer i klimaeffekten for enkelte av disse komponentene.

**Tabell 5:** Denne rapporten omfatter disse komponentene. De komponentene indikert med stjerne er de vi tidligere analyserte i Hodnebrog et al. (2014); Aamaas et al. (2015) for å estimere GTP(10)-verdier som kunne brukes for utslipp. Metan, aerosoler og ozonforløpere er kortlevde klimadrivere, mens CO<sub>2</sub>, lystgass, SF<sub>6</sub> og PFKene er langlevde klimagasser. HFKene har forskjellige levetider, men de fleste kan klassifiseres som kortlevde klimadrivere.

Kyotogasser	PFKer (også Kyotogasser)	HFKer (også Kyotogasser)	Aerosoler	Ozonforløpere
CO <sub>2</sub>	CF <sub>4</sub>	HFK-23*	BC*	NO <sub>x</sub> *
CH <sub>4</sub> *	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	HFK-32*	OC*	CO*
N <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	HFK-125*	SO <sub>2</sub> *	NM <sub>VOC</sub> *
SF <sub>6</sub>		HFK-134*		
		HFK-134a*		
		HFK-143*		
		HFK-143a*		
		HFK-152a*		
		HFK-227ea*		

## 6.2 Vurdering av å endre verdiene fra GTP(10) til en annen vektfaktor

Tilleggsspørsmålet er om GTP(10) er den beste vekt faktoren hvis man er opptatt av klimaeffekt på kort sikt. Som vi diskuterte i Aamaas and Berntsen (2019), finnes det ikke et fasitsvar på hva som er den rette vekt faktoren å bruke, bare faglige og politiske vurderinger av hva som kan være gode og mindre gode alternativer. Vekt faktorer er ikke utviklet for å definere målsetninger og politiske valg, men fasiliterer en evaluering og implementering av en politikk på mange typer utslipp for å nå et mål. I Tabell 6 går vi gjennom noen forskjellige vekt faktorer og vurderer hva som er fordeler og ulemper med de ulike. De fleste vekt faktorer kan normaliseres til tilsvarende utslipp for CO<sub>2</sub> og dermed gi CO<sub>2</sub>-ekivalente utslipp, men utslippene av en komponent og utslippene av CO<sub>2</sub> er bare

ekvivalente med den gitte klimakomponent og tidsperspektiv. Senere i rapporten presenterer vi hvordan disse ulike vekt faktorene veker norske utslipp forskjellig. Hvilke eller hvilken vekt faktor som brukes, avhenger hva som er analysens formål (som hvilke tidsperspektiv og hvilke typer virkninger man er opptatt av). Bak dette er det en rekke verdivalg. Man kan være uenig eller ikke om GTP(10) for norske utslipp er et godt valg når man ønsker å beregne de kortsiktige klimaendringene av norske utslipp. Men vi mener prosessen som ledet til at Miljødirektoratet valgte GTP(10) var bra. Miljødirektoratet gikk inn i de faglige vurderingene og satte seg godt inn i problemstillingene for å få god vitenskapelig forståelse om fordeler og ulemper ved ulike valg, som en del av forarbeidet til Miljødirektoratet (2013). Til slutt tok Miljødirektoratet et verdivalg og gikk for GTP(10) for norske utslipp basert på denne faglige forståelsen.

**Tabell 6:** Fordeler og ulemper med forskjellige vekt faktorer. Disse vekt faktorene presenteres i seksjon 7. GWP (Global Warming Potential), GTP (Global Temperature change Potential) og gjennomsnitt GTP er metrikker for pulsutslipp, mens dynamisk AGTP og GWP\* er mer tilpasset sammenlikning av tiltak med utslippsendringer over tid. AGTP er også en vekt faktor som brukes for pulsutslipp, mens vi med dynamisk AGTP mener en enkel klimamodell som kan estimere endringer i global temperatur basert på utslippsbaner.

Vekt faktor	Fordeler	Ulemper
GWP(100)	Den som brukes offisielt bl.a. for rapportering til Klimakonvensjonen (UNFCCC) Alle kjenner til denne Vil trolig være den som brukes i lang tid framover	Har blitt mye kritisert i faglitteraturen for å være en mangelfull vekt faktor Er ikke så relevant med tanke på temperaturmål eller ved andre tidsperspektiv
GTP(10)	Enkelt relatert til temperatur Passende tidshorison for et kort tidsperspektiv	Lite brukt Svært kort horison sammenlignet med det lange tidsperspektivet for klimaendringer
gjennomsnitt(GTP(1-25)) <sup>10</sup>	Enkelt relatert til temperatur Passende tidshorison for et kort tidsperspektiv eller rateperspektiv	Lite brukt, har ikke fått gjennomslag
Dynamisk AGTP	Viser enkelt endringer i global temperatur over tid Ikke noe tidshorison som må velges Passende mot temperaturmål	Går bort fra CO <sub>2</sub> -ekvivalenter Vanskelig å relatere seg til tusendels og milliondels grader Noe mer omfattende beregninger nødvendig
GWP*	Forener det kortsiktige med det langsiktige tidsperspektivet og effekten av kortlevde klimadrivere med langlevde klimagasser når hele utslippsbanen framover er kjent Bygger på GWP(100) Kan relateres til temperaturmål	Komplisert og lett å regne feil på Krever tidsserie av utslippsstatistikk for utslippskilden (helst minst 20 år bakover i tid) Utslippene vektet med GWP*-verdien kan fluktuere betydelig framover i tid avhengig av utslippsbanen. Krever stor forståelse og langsiktighet for bruk i politikktutforming.

<sup>10</sup> gjennomsnitt(AGTP(1-25)) har blitt foreslått av Shindell, D., Borgford-Parnell, N., Brauer, M., Haines, A., Kuylenstierna, J. C. I. and co-authors 2017. A climate policy pathway for near- and long-term benefits. *Science* 356, 493-494.

# 7 Beregninger av norske utslipp med ulike vekt faktorer

Denne seksjonen svarer ut Miljødirektoratets andre oppgave.

## 7.1 Vekt faktorverdier

Det finnes en rekke vekt faktorer for å vekte ulike utslipp mot hverandre, som tidlig beskrevet i bl.a. Aamaas et al. (2012); Aamaas and Berntsen (2019) for Miljødirektoratet (se også Tabell 6). Vekt faktorene tar vanligvis utgangspunkt i en klimakomponent og et tidsperspektiv og sammenlikner en framtidig effekt av samme masse av utslipp i dag (pulsutslipp). Vekt faktorene i seg selv tar vanligvis ikke hensyn til utslippsbanene framover, men de kan anvendes på en utslippsbane ved at man ser på det som en serie med pulsutslipp. Varianter med kontinuerlig faste utslippskutt (sustained) har vært foreslått (se f.eks. Myhre et al., 2013). De to mest kjente vekt faktorene som baserer seg på pulsutslipp er Global Warming Potential (GWP) (IPCC, 1990) og Global Temperature change Potential (GTP) (Shine et al., 2005; Shine et al., 2007). I offisielle klimaregnskap brukes i dag en pulsbasert GWP med en 100 års tidshorisont.

GWP- og GTP-verdier for en rekke tidshorisonter er gitt i Tabell 7 og Tabell 8 i tråd med vurderingen gjort i seksjon 6.1. Det er disse vekt faktorene som brukes i utregningene på norske utslipp i denne rapporten. Flere komponenter kunne vært inkludert, men disse tabellene tar bare med de komponentene Miljødirektoratet har gitt oss utslippsstatistikk på for Norge og som vi har brukt i regneeksemplene i denne rapporten. I tillegg inkluderer vi oppdaterte vekt faktorer for metan gitt ny kunnskap etter den femte hovedrapporten (Tabell 9), men vi bruker ikke disse i utregningene.

Shindell et al. (2017) argumenterte for bruk av gjennomsnittlig AGTP over de første 25 årene etter et pulsutslipp som en vekt faktor relevant for vurdering av kortsiktige temperaturendringer eller rateperspektiv de første tiårene. Derfor har vi også inkludert den normaliserte vekt faktoren (GTP, normalisert til CO<sub>2</sub>) av denne i tabellen. AGTP er både en vekt faktor og kan brukes som en enkel klimamodell. I denne rapporten er vi innom begge bruksområdene, men benytter AGTP mest som en enkel klimamodell for å regne ut endringer i global temperatur av ulike utslippsbaner. Vi kan da karakterisere dette som dynamisk AGTP fordi tidshorisonten i AGTP blir kortere for utslipp som finner sted senere (se også avsnitt 6.2.3 og likning 1).

Verdiene på vekt faktorene for aerosolene og ozonforløperne presentert i Tabell 8 er noen få prosent lavere enn de som brukes av Miljødirektoratet i dag. Endringen skyldes oppdatering av CO<sub>2</sub>-delen i vekt faktorene, som forklart i seksjon 6.1. For SO<sub>2</sub> gir vi her bare vekt faktorverdier for den direkte effekten. Aerosoler har også en indirekte effekt (fordi skyene påvirkes) som er usikker. Som oftest beregnes den indirekte effekten ved en skalering av den direkte effekten av SO<sub>2</sub> og legges til den direkte effekten. Basert på den fjerde hovedrapporten er den indirekte effekten 1,75 av den direkte effekten av SO<sub>2</sub>, mens i den femte hovedrapporten er denne faktoren 1,1, som betyr at den samla effekten er litt over dobbelt så stor som den direkte effekten.

**Tabell 7:** Vektfaktorverdier for GWP og GTP med en rekke ulike tidshorisonter for en rekke Kyotogasser som er i tråd med FNs klimapanel femte hovedrapport (Myhre et al., 2013). Gjennomsnitt(GTP(1-25)) betyr at GTP-verdier er regnet ut for alle år mellom 1 og 25 år etter et utslipp av en enhet og deretter er gjennomsnittet av disse tatt.

Komponenter	GWP(20)	GWP(50)	GWP(100)	GWP(500)	GTP(10)	GTP(20)	GTP(50)	GTP(100)	Gjennomsnitt (GTP(1-25))
CO2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CH4	84	48	28	8	100	67	14	4	89
N2O	264	276	265	132	254	277	282	234	257
SF6	17500	20490	23507	31510	16307	18904	23794	28215	16915
CF4	4875	5734	6626	9407	4538	5272	6689	8038	4711
C2F6	8211	9645	11123	15544	7645	8877	11237	13456	7935
C3F8	6644	7772	8900	11765	6194	7176	9015	10654	6423
HFC-23	10827	11925	12398	8721	10259	11524	12959	12709	10506
HFC-32	2435	1171	677	193	3299	1362	145	94	2959
HFC-125	6094	4686	3169	930	6445	5797	2977	967	6113
HFC-134	3580	1919	1116	318	4450	2656	412	160	3913
HFC-134a	3710	2198	1301	371	4362	3053	703	201	3909
HFC-143	1202	567	328	94	1634	549	62	46	1587
HFC-143a	6941	6175	4804	1556	7001	6957	5061	2505	6852
HFC-152a	506	238	138	39	601	174	24	19	788
HFC-227ea	5358	4537	3348	1034	5488	5283	3436	1460	5315

**Tabell 8:** Vektfaktorverdier for GWP og GTP med en rekke ulike tidshorisonter for ulike aerosoler og ozonforløpere gitt at utslippene finner sted i Norge. Altså er GTP(10) her det samme som er definert som GTP(10), Norge av Miljødirektoratet, se f.eks. Miljødirektoratet (2013). Disse er i utgangspunktet de samme som de presentert i Hodnebrog et al. (2014); Aamaas et al. (2015), men CO<sub>2</sub>-delen justert for å være i tråd med FNs klimapanel femte hovedrapport (Myhre et al., 2013). Denne justeringen drar ned vektfaktorverdiene ned med noen få prosent. Disse tallene har en usikkerhet i seg, og dermed kan det være fornuftig å bruke disse vektfaktorene med bare to gjeldende siffer (som diskutert i Aamaas et al. (2015)). Det betyr at GTP(10) for BC kan også gis som 2700. Vektfaktorverdier for SO<sub>2</sub> tar bare med den direkte effekten her og ikke den indirekte effekten. For aerosoler vil GTP(10) være nesten lik GWP(20), mens for komponenter med noe lengre levetid i atmosfæren (som CH<sub>4</sub>) vil GTP(10) ha en noe høyere verdi enn GWP(20).

Komponenter	GWP(20)	GWP(50)	GWP(100)	GWP(500)	GTP(10)	GTP(20)	GTP(50)	GTP(100)	Gjennomsnitt (GTP(1-25))
BC	2697	1269	734	209	2671	783	123	101	4755
SO <sub>2</sub>	-74	-35	-20	-5,7	-73	-21	-3,3	-2,8	-130
OC	-61	-29	-17	-4,7	-61	-18	-2,8	-2,3	-108
NO <sub>x</sub>	-20	-13	-7,4	-2,1	-27	-24	-4,3	-1,1	-9,6
NM <sub>2</sub> VOC	12	6,1	3,5	1,0	14	5,8	1,0	0,5	18
CO	7,1	3,8	2,2	0,6	8,5	4,7	0,8	0,3	8,8



**Tabell 9:** Her presenterer vi vektfaktorverdier for metan hvis vi inkluderer ny kunnskap (Etminan et al., 2016), som gir 14 % høyere vektfaktorverdier enn i FNs klimapanel's femte hovedrapport (Myhre et al., 2013) (se Tabell 7).

Komponenter	GWP(20)	GWP(50)	GWP(100)	GWP(500)	GTP(10)	GTP(20)	GTP(50)	GTP(100)	gjennomsnitt (GTP(1-25))
CH <sub>4</sub>	96	55	32	9	114	77	16	5	102

De siste årene har en ny metodikk basert på GWP\*-konseptet blitt introdusert som et alternativ til GWP for å sammenlikne klimaeffekt av utslipp av kort- og langlevde klimadrivere (Allen et al., 2016; Allen et al., 2017; Allen et al., 2018a; Allen et al., 2018b; Cain et al., 2019; Lynch et al., 2020). For langlevde klimadrivere er GWP\* og GWP identiske, se likning 1. For kortlevde klimadrivere inngår både endringer i utslippene over tid og det nåværende utslippet for å beregne oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp (CO<sub>2</sub>-we utslipp, we: warming-equivalent). GWP\* konseptet er altså en metode for å sette en utslippsbane av en kortlevd komponent på samme skala som et pulsutslipp av CO<sub>2</sub>. Hvis man kjenner til de framtidige utslippene, kan man da forene effekten på global oppvarming av kortlevde klimadrivere med langlevde klimagasser. Dette er grunnleggende forskjellig fra standard GWP eller GTP, der pulsutslipp av ulike komponenter settes på samme skala. Det er gode geofysiske grunner for å bruke GWP\*-konseptet for å beregne oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp slik at utslipp av kortlevde klimadrivere kan inkluderes i et karbonbudsjett på en konsistent måte på tvers av scenarier. Som vi skal komme tilbake til er det mer uklart om og eventuelt hvordan GWP\*-konseptet kan brukes i politikktutforming og i forpliktende avtaler.

For langlevde klimagasser, som CO<sub>2</sub>, regnes de CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene akkurat som ved tradisjonell bruk av GWP:

$$U_{CO_2-ekv,langlevd}(t) = U_{langlevd}(t) \times GWP(H) \quad [1]$$

Her står  $U$  for utslipp fra utslippskilder i år  $t$ .  $H$  er vanligvis satt til 100 år for å være konsistent med GWP(100). Enheten er den samme som enheten på utslipp på høyre side av formelen, typisk tonn eller millioner tonn.

Beregningen av oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp (CO<sub>2</sub>-we) for kortlevde klimadrivere er gitt ved:

$$U_{CO_2-we,kortlevd}(t) = (r \times \frac{U_{kortlevd}(t) - U_{kortlevd}(t-\Delta tid)}{\Delta tid} \times H + s \times U_{kortlevd}(t)) \times GWP(H) \quad [2]$$

$U$  står for utslipp,  $H$  er tidshorisonten for GWP. Faktoren  $r$  representerer grovt sett responsen i overflatelaget i havet, mens  $s$  representerer den tregere responsen til dyphavet. Disse kan estimeres numerisk ut fra simuleringer i koblede klimamodeller, hvor summen alltid skal være  $r+s=1$ .  $r$  står for «rate» og  $s$  for «stock». Cain et al. (2019) fant empirisk at rimelige verdier er  $r=0,75$  og  $s=0,25$ .  $\Delta tid$  settes vanligvis til 20 år, det vil si at endringene i utslippene midles over de siste 20 år. Med bruk av denne formelen antar man implisitt at endringen i utslippene av kortlevde klimadrivere er permanent.

Det er viktig å legge merke til at oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp beregnet med formel (2) kan gi negative verdier. Det er intensjonen og betyr at store kutt slik at rate-leddet (det første leddet på høyre side i likning 2) dominerer tilsvarende et negativt pulsutslipp av CO<sub>2</sub>, det vil si tilsvarende til at

CO<sub>2</sub> fjernes fra atmosfæren. Dersom oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp av for eksempel metan er null, betyr ikke det at det ikke er rom for kutt som kunne gi negative oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp og dermed en redusert oppvarming av klima totalt sett. Oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp nær null vil kunne tolkes som om disse utslippene er klimanøytrale. Det er riktig i den forstand at de ikke vil gi noen ytterligere bidrag til oppvarming, men det er bare fordi de historiske utslippene har gitt en oppvarming som er i tilnærmet likevekt. Et slikt argument inkluderer altså betydelig såkalt «grandfathering», det vil si at fordi disse utslippene stabiliserte seg tidlig, trenger de ikke å reduseres.

Artiklene som er referert over, viser at akkumulerte oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp beregnet med GWP\* gir en meget god tilnærming til temperaturutviklingen som følger av de utslippsscenarioer som er undersøkt (for eksempel RCP-scenariene), mye bedre enn for akkumulerte CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslipp beregnet med standard GWP. Den geofysiske begrunnelsen er at man bør sammenligne en permanent endring i utslippene av kortlevde klimadrivere med en engangs endring av utslippene av langlevde klimagasser, vanligvis CO<sub>2</sub>. Slik GWP\* er definert kan man altså ikke på samme måte som for GWP og GTP regne ut vekt faktorverdier for GWP\* siden beregningene av GWP\* både avhenger av hvor store utslippene er og hvor fort de endres. Men gitt at vi vet hvor stor den prosentvise endringen i utslippet er per år (eller over en 20 års periode, som er brukes av Cain et al. (2019); Lynch et al. (2020) for den spesifikke utslippskilden, kan vi regne oss fram til oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp for de kortlevde klimadriverne. For de langlevde klimagassene er verdier for oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp med GWP\* de samme som ved bruk av GWP(100) (se formel 1). I Tabell 10 viser vi hva oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp basert på GWP\* blir for ulike prosentvise utslippsreduksjoner av metan (utregnet basert på formel 2, med H=100 år og Δtid = 20år). Når tiltak vurderes, er det viktig at disse prosentvise utslippsreduksjonene går på de spesifikke utslippskildene tiltakene rettes mot, og ikke de totale utslippene. Ved utslippsreduksjoner av metan som er -0,3 %/år, eller -1/3 %/år for å være nøyaktig, blir oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp med GWP\* null (Allen et al., 2018a). GWP\*-formelen har ikke blitt tilpasset mot andre kortlevde klimadrivere i faglitteraturen, men med de samme parameterne som for metan har også de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene null for disse komponentene ved -1/3 %/år. Et fullstendig kutt på 100 % metan i løpet av et år gi et CO<sub>2</sub>-we verdi på -2100 (ved bruk av formel 2, hvor da stock-leddet går i null, mens resten blir 0,75×28×100 hvis vi forenkler og antar at Δtid er 1 år). Det betyr at for hvert tonn årlige metan-utslipp som kuttes umiddelbart og permanent tilsvarer dette en fjerning av et engangsutslipp på 2100 tonn CO<sub>2</sub>. Jo hurtigere utslippsreduksjonen gjennomføres, jo høyere negativ verdi på oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp. For permanent vekst i utslippene av metan teller hvert nye tonn med metan som 2100 tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp uansett hvor kraftig utslippsveksten er. Hvert tonn av metan-utslipp som fortsetter fra et år til det andre telles som 7 tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp. Ved ingen utslippsendringer er dermed det oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippet metanutslippene multiplisert med 7.

**Tabell 10:** Oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp (CO<sub>2</sub>-we utslipp) basert på GWP\* konseptet for utslipp av metan utregnet basert på formel 2. Verdier er gitt for ulike hastigheter for utslippsreduksjoner. Jo hurtigere utslippsreduksjonen gjennomføres, jo mer negativ GWP\*. Disse er beregnet basert på GWP(100)=28 for metan fra den femte hovedrapporten (Myhre et al., 2013). For økninger i utslipp telles hvert tonn metan økte utslipp som 2100 tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp.

Prosentvis endring av årlige CH <sub>4</sub> -utslipp (kg/år)	CO <sub>2</sub> -we utslipp (kg)
-0,33 %/år	0
-1 %/år	-1407
-10 %/år	-2037
-50 %/år	-2093
-100 %/år	-2100

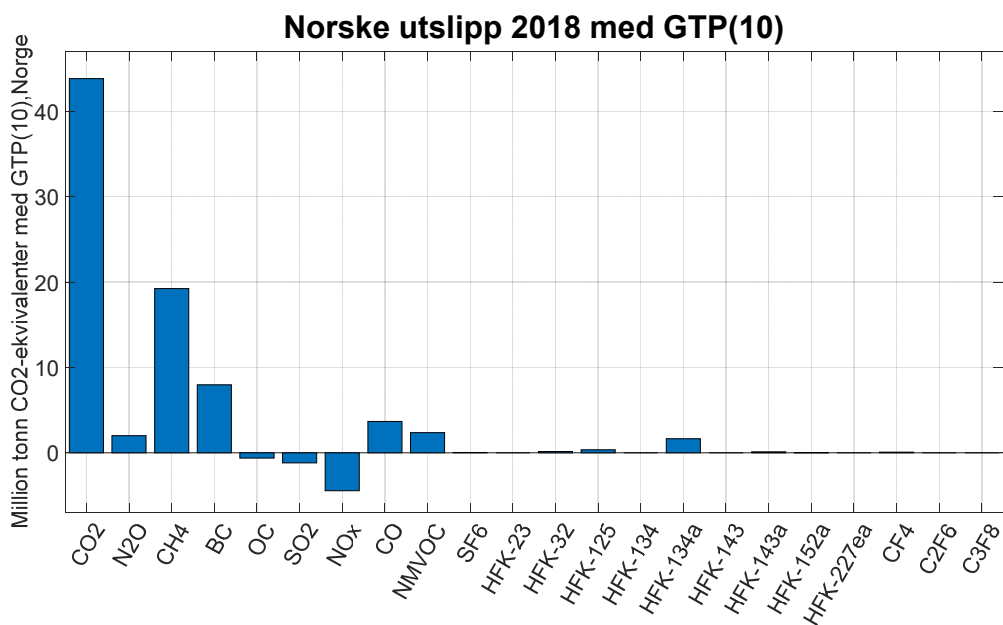
I eksempelet over med et 100 % vedvarende kutt i metanutslippene vil man få en svært høy CO<sub>2</sub>-we utslippsreduksjon (-2100 kg for et kutt i metan på 1 kg/år). Den store negative verdien betyr at man kan utsette CO<sub>2</sub>-tiltak og likevel holde seg under et tak på oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp. Denne høye verdien gjelder imidlertid bare for det året kuttet gjennomføres (neste år vil CO<sub>2</sub>-we utslippskuttet være null, selv om kuttet på 100% opprettholdes). For å unngå en slik kortvarig stor fluktusjon i de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene - har forskerne bak GWP\* metoden foreslått at effekten midles ut over en 20 års periode. I dette tilfellet vil man da få et CO<sub>2</sub>-we kutt på -105 over en 20-års periode etter kuttet (gitt at utslippene var konstante i 20 år før kuttet), men så vil det CO<sub>2</sub>-we kuttet bli null igjen deretter.

## 7.2 Klimaeffekten av norske utslipp

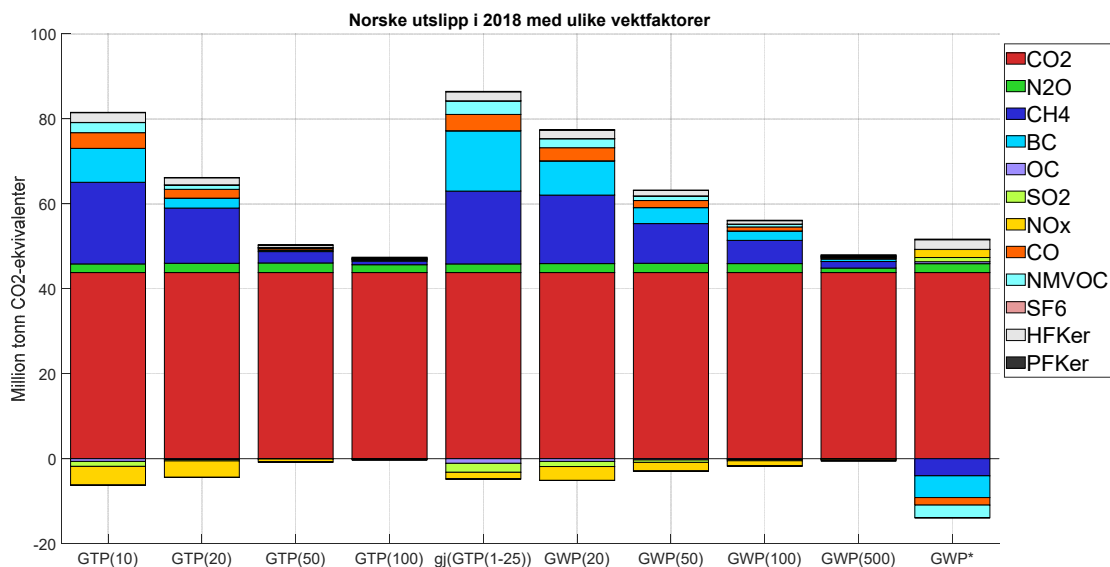
### 7.2.1 Beregning for et enkeltår med vekt faktorer

Først ser vi på hvordan norske utslipp vektet med ulike vekt faktorer gitt utslipp i 2018, det siste året vi har utslippsestimater for. Miljødirektoratet har bistått med utslippsdata for historiske utslipp 1990-2018 og framskrivinger framover mot 2030 basert på en referansebane fra Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020). I Figur 1 ser vi hvordan vektning med GTP(10) slår ut for norske utslipp i 2018. Her viser vi bidraget fra alle komponentene, mens vi i resten av rapporten alltid presenterer HFKene og PFKene i grupper siden de til sammen gir ganske små bidrag. Selv med et kort tidsperspektiv som GTP(10) fører CO<sub>2</sub> til klart mest oppvarming, mer enn det dobbelte av metan. Svart karbon kommer på tredje og etterfulgt av CO, begge betydelig større enn lystgass. Utslipp av SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og organisk karbon bidrar til avkjøling av atmosfæren. Totalt blir de CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene i underkant av 80 millioner tonn med GTP(10).

De norske utslippene vektet med diverse vekt faktorer er framstilt i Figur 2. Her gis GWP og GTP med flere tidshorisonter, i tillegg til alternativene gjennomsnittlig GTP(1-25) og for metoden basert på GWP\*. Noen av disse alternativene er veldig lite brukt eller mindre kjent, men presenteres likevel for å vise noe av mangfoldet som eksisterer. De kortlevde klimadrivene gis større vekt med GTP(10) og GTP(1-25) enn GWP(100), som i hovedsak skyldes det korte tidsperspektivet. Med gjennomsnittlig GTP(1-25) er de CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene av metan og svart karbon nesten det samme for Norge i 2018, mens med GTP(10) gis metan mer enn dobbelt så stor vekt som svart karbon. Med andre ord vektet de mest kortlevde av de kortlevde klimadrivene enda mer med gjennomsnittlig GTP(1-25) enn de andre kortlevde, som metan. HFKene gir størst bidrag ved de korte tidshorisonter, mens utslippene av PFKene ble redusert kraftig fram til 2018 og gir dermed ubetydelige bidrag for utslippene i 2018. Effekten av CO<sub>2</sub> er den samme med alle de forskjellige vekt faktorene siden alle vekt faktorene normaliseres til CO<sub>2</sub>. Det vil si at vekt faktoren for CO<sub>2</sub>=1 for alle disse typene av vekt faktorer. Bidraget fra CO<sub>2</sub>-utslipp er derfor det samme for alle variantene. I Figur 2 ser vi at for bruk av et stort utvalg vekt faktorer, vil de CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene av CO<sub>2</sub> være større enn de CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene av andre komponenter fordi CO<sub>2</sub>-utslippene er så høye. Valg av tidshorisonter har en tydelig effekt, ved at dess lengre tidsperspektiv, jo større andel står CO<sub>2</sub> for og jo mindre andel står de kortlevde klimadrivene for. GWP\* skiller seg ut, bl.a. ved at den oppvarmende klimagassen metan har et negativt bidrag. Dette skyldes at det har vært en utslippsnedgang nasjonalt av metan fra 1998 til 2018 på ca. -1 %/år. Store utslippsreduksjoner av sort karbon, NMVOC og CO gir også negative bidrag til oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp for disse komponentene. På samme måte har det vært en nedgang i utslippene av de nedkjølede kortlevde klimadrivene (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> og organisk karbon), og dermed gir de et oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp som er større enn null (oppvarmende).



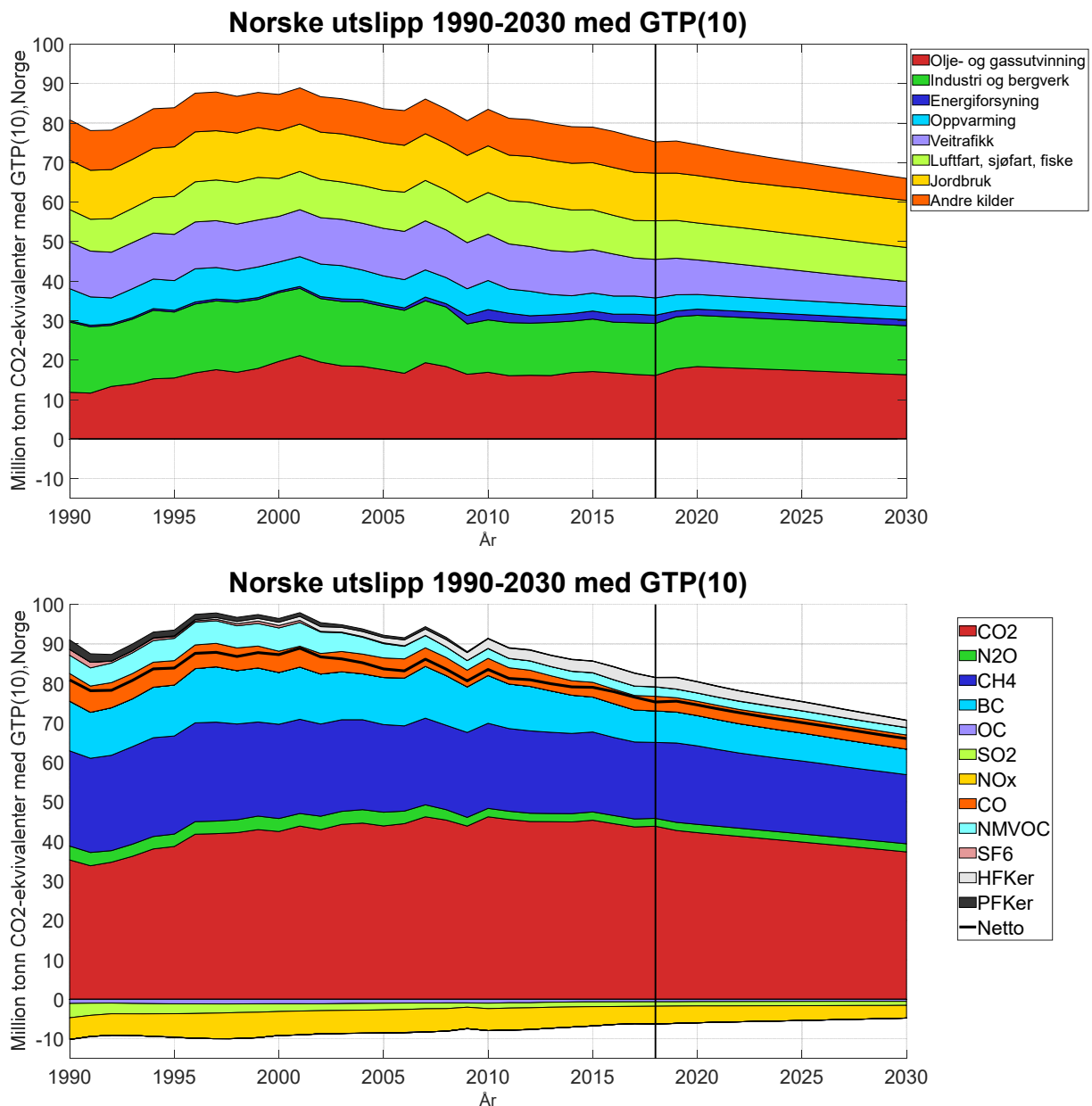
**Figur 1:** Norske utslipp i 2018 vektet med GTP(10). Miljødirektoratet har delt disse historiske utslippene, som er i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020).



**Figur 2:** Norske utslipp i 2018 vektet med en rekke ulike vekt faktorer, alle forskjellige varianter av GWP og GTP. Utslipptrenden for perioden 1998-2018 vektet med GWP\* er gitt i oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp, mens alle andre søyler viser utslipp i 2018 i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. HFker er summen av HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134, HFC-134a, HFC-143, HFC-143a, HFC-152a og HFC-227ea, mens PFKer består her av CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> og C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>. Miljødirektoratet har delt disse historiske utslippene, som er i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020). Negative verdier for GWP\*-baserte tall betyr ikke at utslipp av komponenter som metan og sort karbon ikke bidrar til oppvarming, se avsnitt 6.1.

### 7.2.2 Beregning for en utslippsbane med vektfactorer

Videre ser vi på hvordan de historiske utslippene i perioden 1990-2018 og de påfølgende framskrivningene fram til 2030 i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020) vektet med vektfactoren GTP(10). I seksjon 7.2.4 viser vi den samme tidsserien av utslipp med GWP\* og GWP(100). I Figur 3 er utslippene vektet med GTP(10) dekomponert på utslippssektorer (øvre del) og utslippskomponenter (nedre del). Fordi utslippene etter 2018 er en prognose framstår kurvene som glattere etter 2018 enn før 2018. De CO<sub>2</sub>-ekvivaletene utslippene regnet med GTP(10) er størst rundt år 2000 med nesten 90 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter og faller deretter gradvis til under 70 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i 2030. Den relative fordelingen mellom sektorene er nesten den samme gjennom perioden, hvor utslippene reduseres i de fleste sektorer etter ca. år 2000, men med en økning i sektoren energiforsyning. Petroleumssektoren, industri og transport har historisk vært de største utslippssektorene. Det ville de også vært dersom utslippene hadde blitt vektet med GWP(100) (se Figur 8). I nedre del av Figur 3 ser vi at nesten alle utslippskomponentene reduseres, men i noe større grad ikke-CO<sub>2</sub> enn CO<sub>2</sub>. Noen utslipp veksler på hverandre, hvor utslippene av PFKene er størst de første årene, mens HFKene tar over de siste tiårene. Men ellers er den relative fordelingen mellom de ulike komponentene ganske lik gjennom hele perioden.



**Figur 3:** Norske utslipp i perioden 1990-2030 vektet med GTP(10), fordelt på utslippssektorer (øvre del) og utslippskomponenter (nedre del). Den svarte linja skiller mellom historiske utslipp 1990-2018 og framskrivinger framover mot 2030. Miljødirektoratet har delt disse utslippene, som er i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020).

### 7.2.3 Beregning av norske utslipps betydning på global temperatur

Vekt faktorer kan benyttes til å beregne endring i global temperatur gitt utslipp over tid. Den globale temperaturutviklingen over tid kan estimeres med bruk av AGTP som er en veldig enkel klimamodell. Matematisk gjøres dette ved bruk av en konvolusjon av utslippene over tid med AGTP for et pulsutslipp (som tidligere beskrevet for Miljødirektoratet i Aamaas et al., 2012). For utslipp  $E$  av komponent  $k$  i sektor  $s$  vil temperatureffekten etter tiden  $t$  være:

$$\Delta T_{s,k}(t) = \int_0^t E_{s,k}(t') \times AGTP_{s,k}(t - t') dt' \quad [3]$$



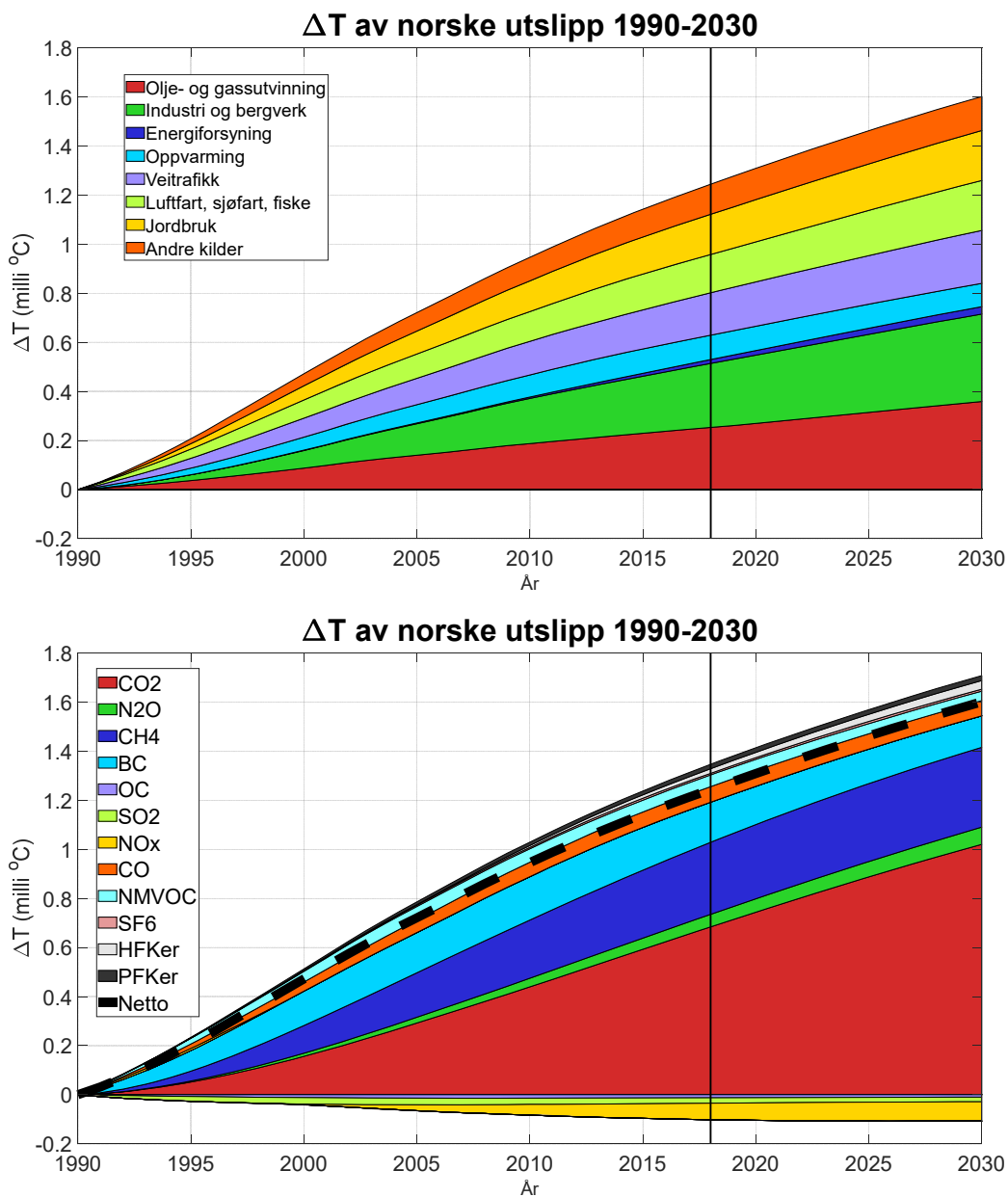
For praktisk bruk erstattes integralet med en sum og dette kan da enkelt legges inn i et regneark. Fordelen med disse enkle utregninger er at vi kjapt kan estimere den globale temperatureffekten av utslipp i hvilken som helst sektor eller komponent ved et gitt tidspunkt. Som eksempel bruker vi jordbrukssektoren og de totale utslippene.

Vi har estimert den globale temperatureffekten av de norske historiske utslippene i perioden 1990-2018 og de påfølgende framskrivningene fram til 2030 i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020). En annen måte å se dette på er at det viser økning i forhold til en referansebane med null utslipp etter 1990. Dette er en forholdsvis kort tidsperiode, og tilsvarende utregninger på norske utslipp fra og med den industrielle revolusjonen ville gitt viktig tilleggsinformasjon. Da ville også den langsiktige effekten av de langlevde klimadriverne vært mer synlig. I Figur 4 er temperatureffekten dekomponert på sektorer (øvre del) og utslippskomponenter (nedre del). Funnene er mye de samme som fra Figur 3, men forskjellen er at utslipp som allerede har funnet sted, påvirker temperaturen framover i tid. Sektorer dominert av CO<sub>2</sub>-utslipp bidrar med en forsterket global oppvarming over tid fordi CO<sub>2</sub> akkumuleres over tid, mens sektorer dominert av kortlevde klimadrivere har en mindre vekst mot slutten av perioden siden disse komponentene i mindre grad akkumuleres i atmosfæren. Jordbruket er et eksempel på det siste med store utslipp av metan, noe vi kommer tilbake til i neste avsnitt. Den globale temperatureffekten fra sektoren "oppvarming i andre næringer og husholdninger" stabiliserer seg fordi utslippene reduseres en god del gjennom perioden. På den andre siden har temperaturendringen som skyldes utslipp fra "energiforsyning" den relativt største veksten fordi utslippene vokser kraftig de første 20 årene, noe tilsvarende ser vi til dels for "olje- og gassutvinning" også.

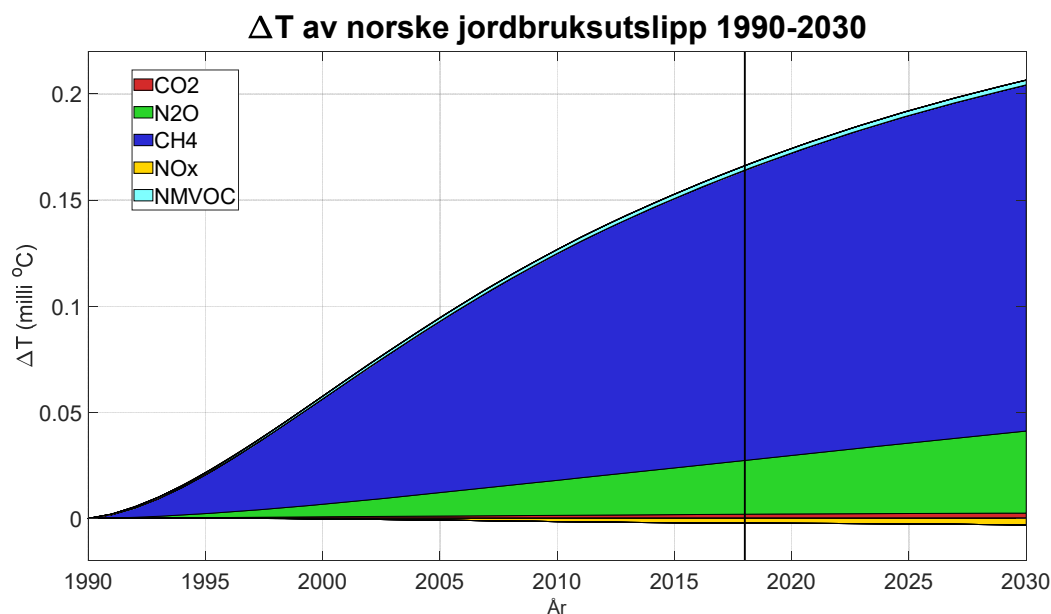
Deretter beregner vi den globale temperatureffekten av utslipp fra én enkeltsektor, jordbruk, i perioden 1990-2030 (se Figur 5). Som diskutert i forrige avsnitt kan temperaturkurven se noe rar ut, spesielt de første tiårene med den kraftige økningen i temperatur, fordi utslipp som skjedde før 1990 ikke er med i analysen. Denne temperaturkurven viser endring i global temperatur sammenlignet med en hypotetisk referansebane med null utslipp fra 1990. Hvis vi hadde startet tidsserien ved et tidligere år, hadde vi ikke fått den samme sterke oppvarmingen fra 1990, men tidligere. I Figur 5 er det utslipp av metan og lystgass som dominerer, men det er også noe CO<sub>2</sub>, NMVOC og NO<sub>x</sub>. Sistnevnte gir en svak nedkjøling, mens alle de andre komponentene er oppvarmende. Utslippene av CO<sub>2</sub> kommer fra drenering av myr til jordbruksformål. Mesteparten av oppvarmingen i dette tidsperspektivet skyldes utslipp av metan fordi utslippene av denne kortlevde klimagassen er store og fordi tidsperioden bare er 40 år. Den langlevde klimagassen lystgass får et økende relativt bidrag utover i perioden. Hvis vi hadde sett temperaturutviklingen over en lengre periode, hadde effekten av de kortlevde klimadriverne nærmet seg et konstant nivå gitt at utslippene er konstante. Derimot hadde oppvarmingen fra utslippene av lystgass og CO<sub>2</sub> økt og økt. Dessverre eksisterer det ikke offisielle utslippsregnskap for før 1990, og dermed ser vi bort fra historiske utslipp før 1990. For å få bedre kunnskap om hvor mye den norske jordbrukssektoren bidrar til global oppvarming ville det vært ønskelig med gode overslag over utslipp av metan, lystgass og CO<sub>2</sub> langt tilbake i tid. Overslag over utslipp av noen av disse gassene har blitt presentert av Haarsaker (2019); Åby (2019), som viser at utslippene av metan har variert, men vært nokså konstante siden tidlig 1900-tallet. Med tilnærmet konstante utslipp av metan fra 1900 ville mesteparten av oppvarmingen allerede ha skjedd før 1990, mens forsterket oppvarming etter 1990 vil i større grad styres av utslipp av CO<sub>2</sub> og lystgass gitt at i dette stiliserte eksemplet at utslippene holder seg konstante. Utslipp av CO<sub>2</sub> og lystgass har en akkumulerende temperatureffekt. Disse sammenhengene diskuterer vi videre i seksjon om GWP\* siden denne vekt faktoren får fram de samme aspektene (se seksjon 7.2.4).

Studier av hvor mye jordbruket bidrar til av global oppvarming har blitt gjort for globale utslipp. Reisinger and Clark (2018) analyserte hvor mye av den økte globale temperaturen fra 1850 som skyldes direkte utslipp fra husdyr globalt ved bruk av modellkjøringer (se Figur 6). Temperaturkurven er hakkete fordi naturlige variasjoner, for eksempel kraftige vulkanutbrudd, får den globale temperaturen til å variere. I 2010 hadde menneskeskapte utslipp bidratt til økning i global temperatur på omtrent 0,81° C. I studien fant de at husdyr hadde bidratt med 23 % av denne

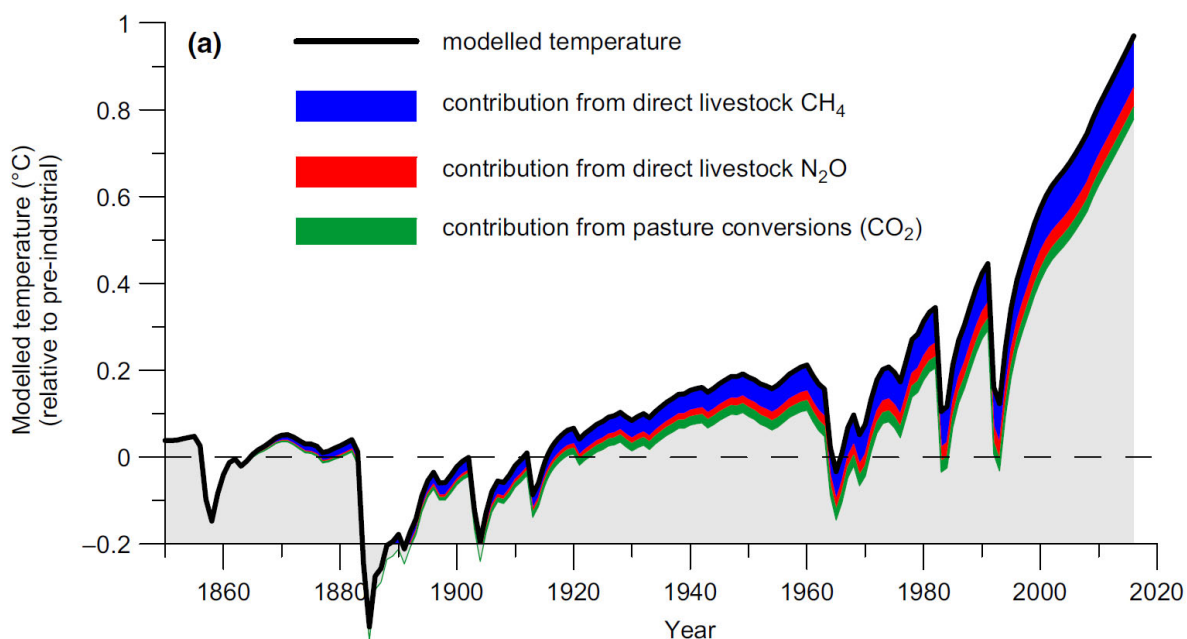
globale oppvarmingen, med 14 %, 5 % og 4 % fra henholdsvis utslipp av metan, lystgass og CO<sub>2</sub>. Indirekte utslipp fra husdyrproduksjon er ikke inkludert i disse overslagene.



**Figur 4:** Endring i den globale temperaturen gitt norske utslipp i perioden 1990-2030, hvor temperatureffekten er dekomponert på utslippssektorer (øvre del) og utslippskomponenter (nedre del). Figurene viser temperatureffekten av de samme utslippene, men ser noe forskjellig ut fordi alle utslippssektorene gir oppvarming, mens noen av utslippskomponentene er avkjølede. Den svarte linja skiller mellom historiske utslipp 1990-2018 og framskrivinger framover mot 2030. Miljødirektoratet har delt disse utslippene, som er i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020).



**Figur 5:** Endring i den globale temperaturen gitt norske utslipp i perioden 1990-2030 fra jordbrukssektoren. Den svarte linja skiller mellom historiske utslipp 1990-2018 og framskrivinger framover mot 2030. Miljødirektoratet har delt disse utslippene, som er i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020). Fra jordbruket er det i hovedsak utslipp av metan og lystgass, men også noe  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  og NMVOC. Utslipp av ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) er ikke inkludert i utregningene fordi vi mangler statistikk på det, men dette vil bidra også.



**Figur 6:** Global oppvarming fra globale utslipp siden 1850, hvor de fargete delene viser hvor mye utslipp fra den globale jordbrukssektoren har bidratt ifølge modellutregninger. Den svarte streken viser den modellerte totale globale temperaturendringen siden før-industriell tid. Som for norske jordbruksutslipp i perioden 1990-2030, har metan gitt det største bidraget i perioden 1850-2015. Ved flere anledninger er kurven midlertidig bratt nedadgående, som i hovedsak skyldes nedkjøling etter store vulkanutbrudd. Figuren er hentet fra Reisinger and Clark (2018).

#### 7.2.4 Beregning for norske utslipp med GWP\* metoden

Deretter ser vi nærmere på GWP\* metoden, hvilke resultater den gir, hvordan den kan brukes og implikasjonene av det. Utviklingen av GWP\* konseptet (Allen et al., 2016; Allen et al., 2018b) har vært motivert av at man hovedsakelig har et langsiktig perspektiv på klimapolitikken gjennom stabiliseringsmålene i Parisavtalen. I et slikt perspektiv er det for de kortlevde klimadrivene permanente endringer i de årlige utslippene som er viktig, mens for de langlevde er det de akkumulerte utslippene som er viktige.

##### *Presentasjon av GWP\**

GWP\* skiller seg ut fra andre vekt faktorer ved at klimadrivene deles i to eksplisitte kategorier, med kort og lang levetid og med ulike metodikk for å beregne bidraget til klimaendringene (se likning 1 og 2 i avsnitt 6.1). For kortlevde komponenter trenger vi tidsserier av utslipp og man kombinerer GWP-verdier med utslippsstatistikk (Cain et al., 2019; Lynch et al., 2020). Med dette konseptet skiller vi mellom komponenter som i hovedsak har lange og korte effekter på klima.

I de vitenskapelige artiklene som presenterer GWP\* er det ikke etablert en klar grense i form av levetid mellom de kortlevde og langlevde klimadrivene, men metan blir behandlet som kortlevd og CO<sub>2</sub> som langlevd. Lynch et al. (2020) framhever at de langlevde typisk har lengre levetid enn tidshorizonten i analysen (f.eks. 100 år). Dermed er lystgass som regel langlevd i denne konteksten, men Lynch et al. (2020) poengterer at lystgass er forskjellig fra CO<sub>2</sub> selv om begge betraktes som langlevde. Derfor er det styrende for beregningene med bruk av GWP\* om en komponent kan defineres som kort- eller langlevd. En studie som diskuterte de samme problemstillingene, men med utgangspunkt i vekt faktorer basert på endring i global temperatur (Collins et al., 2020), fant at for klimagasser med levetider på mellom 20 og 50 år vil tidshorizonten være avgjørende om komponenten kan betraktes som kortlevd eller langlevd. I konklusjonen foreslår de at alle komponenter med kortere levetid enn 50 år passer inn i kategorien kortlevd og alle med lengre levetid som langlevd. GWP\* konseptet er forholdsvis nytt og det foregår intens debatt blant forskere om nytten ved å bruke dette konseptet. Det har blitt utviklet for å bedre kunne representere kortlevde komponenter i et CO<sub>2</sub>-budsjettperspektiv. Dette perspektivet er tett knyttet til langsiktig oppvarming og stabiliseringsmål. Hvorvidt konseptet også er nyttig i svært korte tidsperspektiv (som 2030) der klimasystemet fremdeles vil være langt fra stabilisering har ikke vært behandlet i litteraturen og det derfor for tidlig å konkludere på dette.

Utrekningene våre tar dermed utgangspunkt i en skillelinje mellom kortlevd og langlevd ved en atmosfærisk levetid på 50 år. Dermed blir komponentene CO<sub>2</sub>, lystgass, SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> og C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> langlevde. HFK-23 skal da også betraktes som langlevd med en levetid på 222 år, men for å holde alle HFKene samlet i en gruppe, har vi i samråd med Miljødirektoratet valgt å plassere HFK-23 som kortlevd sammen med de andre HFKene i analysen her. Alle PFKene har uansett betydelig lengre levetid enn HFK-23 og dermed gjør vi et klart skille mellom langlevde PFKer og kortlevde HFKer. Alle de andre klimadrivene, metan, aerosolene og ozonforløperne er kortlevde.

$\Delta$ tid settes vanligvis til 20 år, det vil si at endringene i utslippene midles over de siste 20 år. Dette er et praktisk valg av forskerne bak GWP\* for å glatte ut verdiene siden valg av  $\Delta$ tid = 1 år vil føre til at en tidsserie med oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp vil variere betydelig. Det er vanskelig å se en geofysisk begrunnelse for å innføre en slik midlingsperiode generelt og spesielt akkurat valget av 20 år, annet enn at det muligens kan gjøre GWP\* noe bedre egnet for å utvikle tiltaksstrategier fordi da reflekterer de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene utslippsendringer over tid. Ved bruk av 20 år er det viktig å være klar over at effekten av et utslippskutt i 2020 fordeles over de neste 20 årene, fram til 2039. Men ellers er det opp til brukeren av GWP\* å bestemme valg av  $\Delta$ tid. Uansett betyr dette at GWP\* tar innover seg endringsraten i utslippene av kortlevde klimadrivere.

#### 7.2.4.1 Implikasjoner av å bruke GWP\*

Det er fullt mulig å bruke GWP\* på tiltak. Ved bruk er det viktig å sjekke at beregningene er gjort riktig siden det er flere fallgruver enn med standardmetoden GWP(100), simpelthen fordi formelen inneholder flere parametere. For utregninger av tiltak er det ikke nok å vite hvor store kuttene er av de kortlevede klimadrivene ( $\Delta U_{\text{kortlevd}}$ ), men også hvor store utslippene er fra den eller de spesifikke utslippsskildene som berøres av tiltaket ( $U_{\text{kortlevd}}$ ). Vi kan illustrere ved å se på et tenkt tiltak på fôr til sau som reduserer utslipp av enterisk metan fra sau. Da er ikke utslippene ( $U_{\text{kortlevd}}$ ) de totale jordbruksutslippene eller kategorien «husdyr – tarmgass», men bare utslipp av tarmgass fra sau.

En utfordring med bruk av GWP\* er dermed at det krever et godt statistikkgrunnlag. Det kan også være utfordrende når tiltak treffer flere utslippsskilder i større og mindre grad, for eksempel når avgifts- eller skatteendringer påvirker flere utslippssektorer. Dermed kan det være vanskelig å entydig definere hvilke utslipp som treffes av tiltaket og som må inn i GWP\*-formelen. Den vitenskapelige litteraturen på GWP\* har til nå ikke sett på hvordan GWP\* kan operasjonaliseres med tanke på tiltak som er diskutert her.

Man kan tenke seg at tiltak og målsetninger kan operasjonaliseres ved å sette forpliktelser i oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp med bruk av GWP\* for ulike tidsperioder framover. Dermed kan det tenkes å bruke GWP\* i oppfølging av Parisavtalen hvis det er ønskelig. Hovedargumentet for å bruke GWP\* basert på GWP(100) er at det er konsistent med en karbonbudsjett-tankegang. Denne vekt faktoren vurderer nemlig bidraget til global oppvarming når oppvarmingen er på sitt største (såkalt «peak warming») og at det er det verden bør bry seg om med tanke på å minimere de negative konsekvensene av klimaendringer. Dette maksimumet i global oppvarming er proporsjonalt med de de kumulative utslippene av langlevde klimagasser (det vil hovedsakelig si CO<sub>2</sub>). Ved et slikt valg tar vi et implisitt valg om at høy oppvarmingsrate fram til dette toppunktet ikke er så viktig å tenke på. Her er det viktig å legge merke til at standardmetoden med GWP(100) implisitt tar hensyn til noe av denne kortsiktige utviklingen siden denne vekt faktoren summerer påvirkningen fra de første 100 årene etter at utslippet har funnet sted.

Sett mot temperaturmål, f.eks. Parisavtalen om å begrense den globale oppvarmingen til 1,5 °C (UNFCCC, 2015), kan vi sette tak på hvor store de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene kan være over en framtidig tidsperiode. Dette er et svært ambisiøst mål som vil kreve store reduksjoner i de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene, spesielt for de langlevde klimagassene. Da vil selvfølgelig metan-tiltak også kunne bli inkludert som kostnadseffektive tiltak fordi betydelige utslippskutt gir negative oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp, altså at det gir rom for noe lavere kutt i for eksempel CO<sub>2</sub>.

Store utslippskutt av metan vil gi store reduksjoner i de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene. Dermed vil kraftige tiltak mot metan vektet høyt med bruk av GWP\*. Likevel har medaljen en bakside ved at selv om tiltakene opprettholdes, vil bidraget til reduserte oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp forsvinne etter midlingsperioden på 20 år. Dersom tiltakene ikke kan opprettholdes, vil økningen i utslippene gi store positive bidrag til de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene.

Denne fluktuasjonen i oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene ved utløpet av midlingsperioden er uproblematisk når man analyserer temperaturendringen for et gitt scenario (som et RCP-scenario). Men for en dynamisk politikktutforming under Parisavtalen (med en 5-årig syklus på rapportering og innmelding av nye INDCer) vil det kreve stor bevissthet og langsiktighet i utformingen av tiltakene. Dersom man har forpliktelser som innebærer at oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp skal reduseres fra en rapporteringsperiode til neste, må man være forutseende og planlegge godt. Raske kutt i kortlevede drivere som metan (og stabile eller svakt økende CO<sub>2</sub> utslipp) vil telle som betydelig kutt i oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp på kort sikt (i midlingsperioden). Etter at midlingsperioden er utløpt vil styrking av forpliktelsene under Parisavtalen (stadig strengere INDC-er) kreve raske og dype kutt i CO<sub>2</sub>. Dersom man i midlingsperioden har utviklet ny teknologi som gjør slike kutt lite krevende, kan det selvfølgelig være greit. Men uten en slik langsiktighet og bevissthet så kan dette

bli svært krevende. Ubevisst bruk av GWP\* kan føre til at framtidige generasjoner får en stor byrde ved at de må både opprettholde kuttene i de kortlevde klimadriverne og samtidig gjennomføre store kutt i CO<sub>2</sub> for å stabilisere global temperatur.

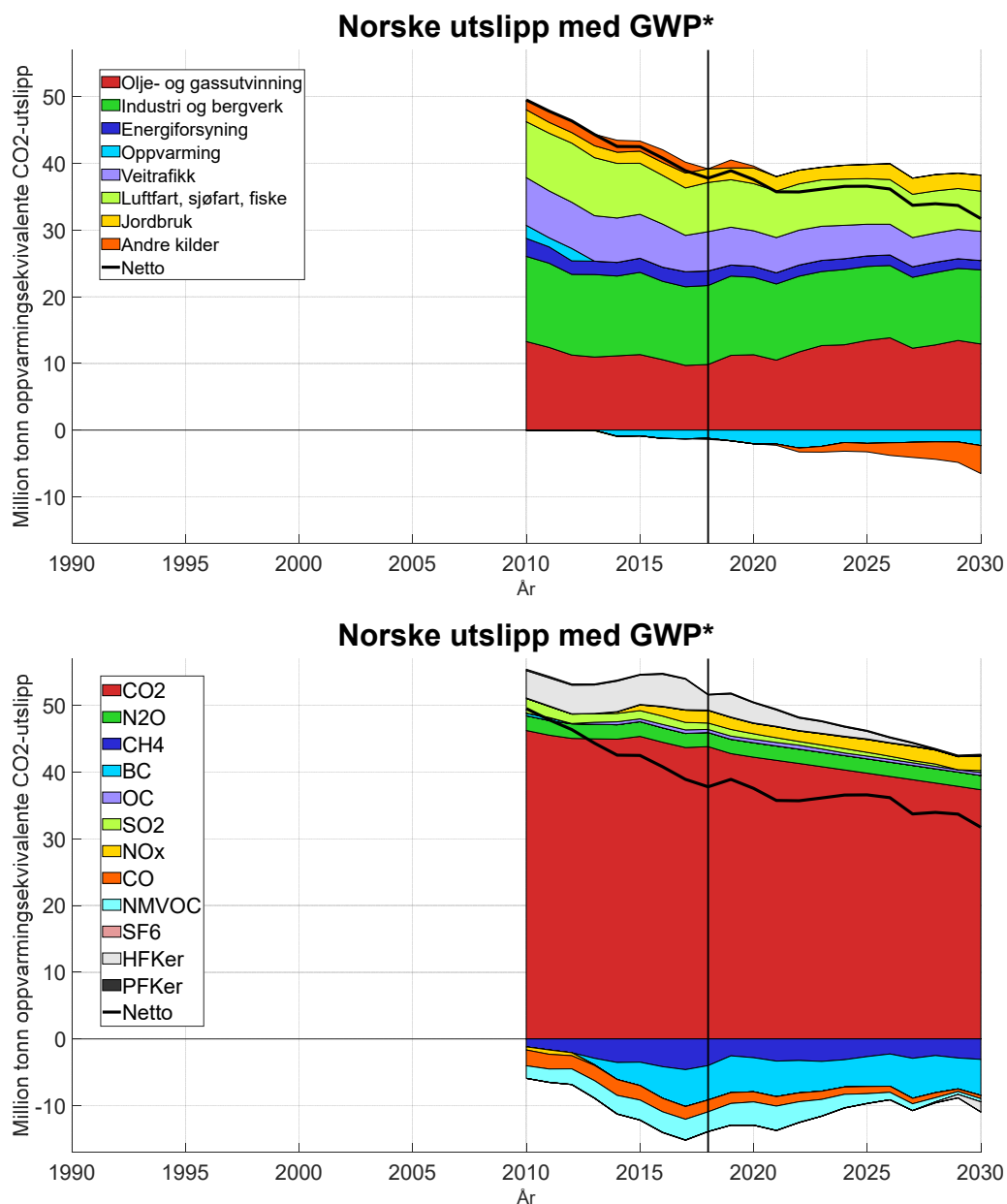
Skal man bruke GWP\* som rapporteringsgrunnlag for en klimaavtale med mål om å unngå overskridelse av et gitt temperaturtak, bør forpliktelsene kvantifiseres i form av et langsiktig tak på akkumulerte oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp siden avtalen ble inngått. Hvorvidt en slik endring av strukturen i Parisavtalen er mulig å gjennomføre, er utenfor oppdraget for denne rapporten.

Enkelte aktører som har betydelige utslipp av kortlevde klimadrivere (for eksempel metan fra landbruket) har vist interesse for å bruke GWP\* i stedet for GWP fordi med konstante utslipp på dagens nivå, gir GWP\* lavere CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslipp enn standard GWP(100). Tilsynelatende gir derfor GWP\* mindre grunn til kutt i disse utslippene. Men som vist over, gir selv moderate kutt i metanutslipp store negative oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp (avhengig av midlingsperiode), det vil si at bruk av GWP\* gir et betydelig økt insentiv for å kutte disse utslippene dersom målet er å holde den globale oppvarmingen godt under 2 grader.

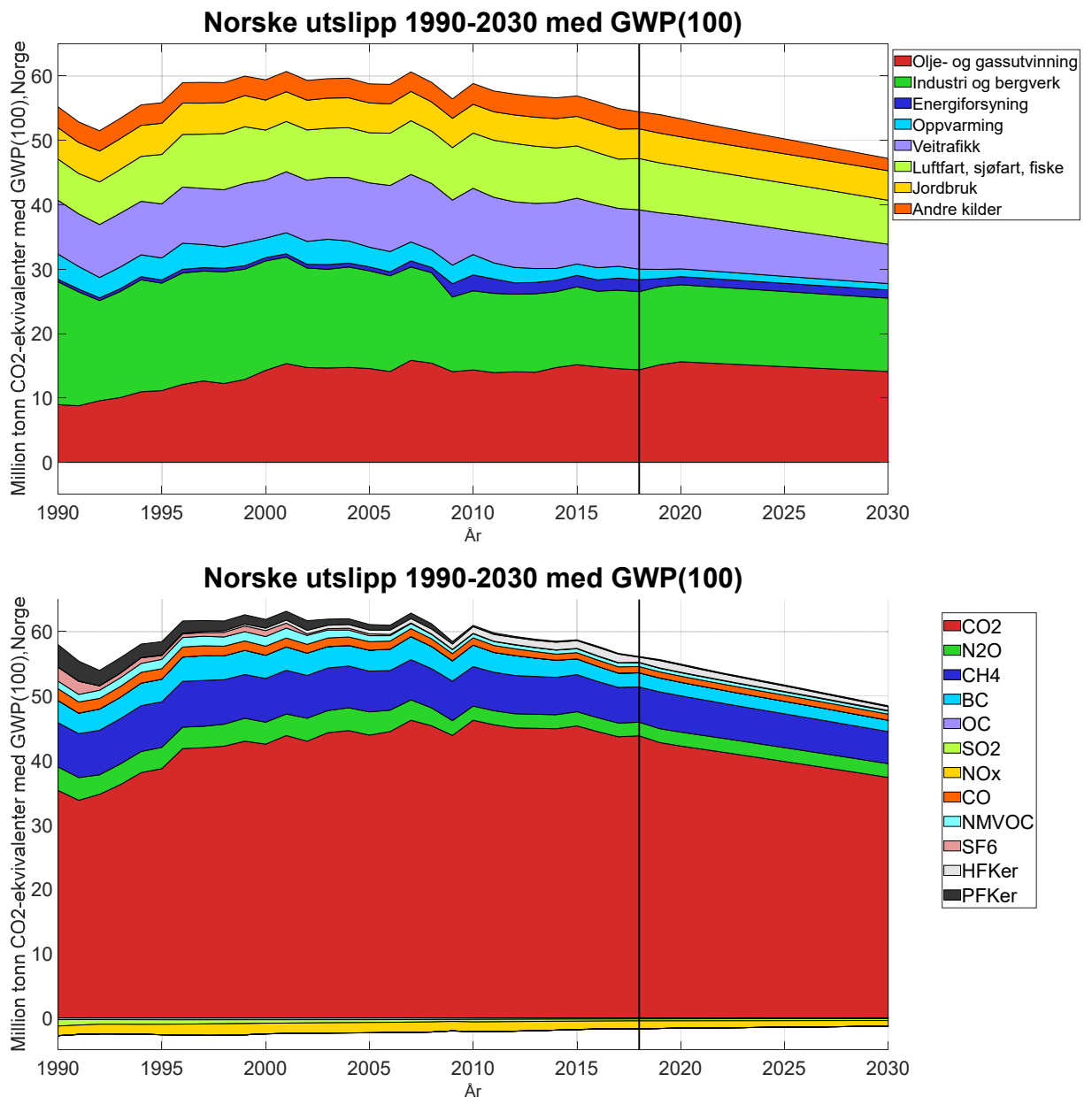
#### 7.2.4.2 *Bruk av GWP\* på norske utslipp*

Vi har regnet oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp med GWP\* basert på norske utslipp i perioden 1990-2030. Utslippene er historiske i perioden 1990-2018 og framskrivninger fram til 2030 i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020). Vi har forholdt oss til  $\Delta$ tid = 20 år. Siden vi ikke har utslippsstatistikk for årene før 1990, er dermed 2010 det første året vi kan regne på oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp. Det betyr at for de kortlevde klimadriverne, bygger estimatet for 2010 på forskjellen i utslipp mellom 2010 og 1990. Hvis vi skulle vist utviklingen fra 1990, måtte vi ha hatt utslippstall fra 1970. Videre er det viktig å være klar over at med  $\Delta$ tid = 20 år, fordeles effekten av et tiltak over 20 år. Dermed får vi heller ikke regnet med hele effekten av utslippsendringer som skjer i de siste 20 årene fram til 2030. For utslippsendringer fra 2029 til 2030 får vi bare med 1/20 av effekten når siste analyseår er 2030. I Figur 7 er de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene dekomponert på sektorer (øvre del) og utslippskomponenter (nedre del). Disse resultatene bør sees opp mot Figur 8, som viser det samme, men bare utregnet med GWP(100). Den siste figuren med GWP(100) viser resultater for hele tidsperioden 1990-2030 siden vi for GWP(100) ikke har noen begrensninger. De norske CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene blir noe lavere med GWP\* enn med GWP(100). I 2010 gir GWP\*-metoden utslipp på nesten 50 millioner oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp mot nesten 60 millioner CO<sub>2</sub>-ekvivalenter med GWP(100). Trenden fra 2010 til 2030 er noe mer fallende med GWP\* enn med GWP(100) siden reduksjonene av de oppvarmende kortlevde klimadriverne øker, drevet fram av økende fall for utslipp av sort karbon. Når utslippene av oppvarmende kortlevde klimadrivere faller med mer enn 1/3 %/år (som er tilfellet for nesten alle disse utslippene for hele perioden), gir disse negative oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp sammenlignet med utslippsituasjonen som var. Dette gjelder for alle de kortlevde klimadriverne når vi antar  $r=0,75$  og  $s=0,25$  i formel 2 gjelder for alle de kortlevde klimadriverne. Oppvarmende kortlevde klimadrivere kan også bidra med mer oppvarming, som er synlig ved at HFKEne bidrar til langt mer oppvarming med GWP\* enn med GWP(100). Årsaken er en kraftig vekst i utslippene. Ellers ser vi at CO<sub>2</sub> tar en større andel av oppvarmingen med GWP\* enn med GWP(100), men de CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene av CO<sub>2</sub> er naturligvis akkurat de samme med de to metodene. På sektornivå er fordelingen mellom sektorene nokså likt med GWP\* og GWP(100), men det overordnede bildet variere noe mer med GWP\*. Sektorer som drar ned på minussida med GWP\* er "oppvarming i andre næringer og husholdninger" det meste av tida og "andre kilder" de siste ti årene, mens ingen sektorer gjør det samme med GWP(100). Det er ingen enkeltforklaring som drar "oppvarming i andre næringer og husholdninger" og "andre kilder" ned på minussida, men kombinasjonen av kraftig reduserte utslipp av CO<sub>2</sub> og kraftig reduserte utslipp av oppvarmende kortlevde klimadrivere (sort karbon, metan, NMVOC og CO). Jordbruket bidrar til forsterket global oppvarming gjennom hele perioden, men i mindre grad enn med GWP(100). Jordbruket vil vi nå se næyere på som et eksempel på en enkeltsektor.





**Figur 7:** Oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp med GWP\* basert på norske utslipp i perioden 1990-2030, hvor utslippene er dekomponert på utslippssektorer (øvre del) og utslippskomponenter (nedre del). Den svarte linja skiller mellom historiske utslipp 1990-2018 og framskrivinger framover mot 2030. Miljødirektoratet har delt disse utslippene, som er i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020).



**Figur 8:** Denne figuren er gitt for å vise forskjellen mellom bruk av GWP(100) og GWP\*. Her er CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslipp med GWP(100) basert på norske utslipp i perioden 1990-2030, hvor utslippene er dekomponert på utslippssektorer (øvre del) og utslippskomponenter (nedre del). Den svarte linja skiller mellom historiske utslipp 1990-2018 og framskrivinger framover mot 2030. Miljødirektoratet har delt disse utslippene, som er i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020).

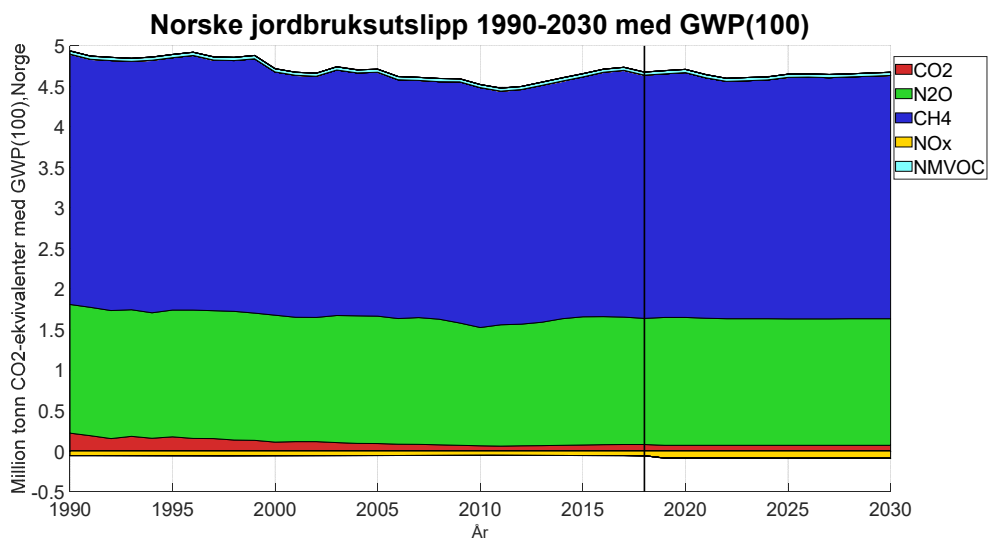
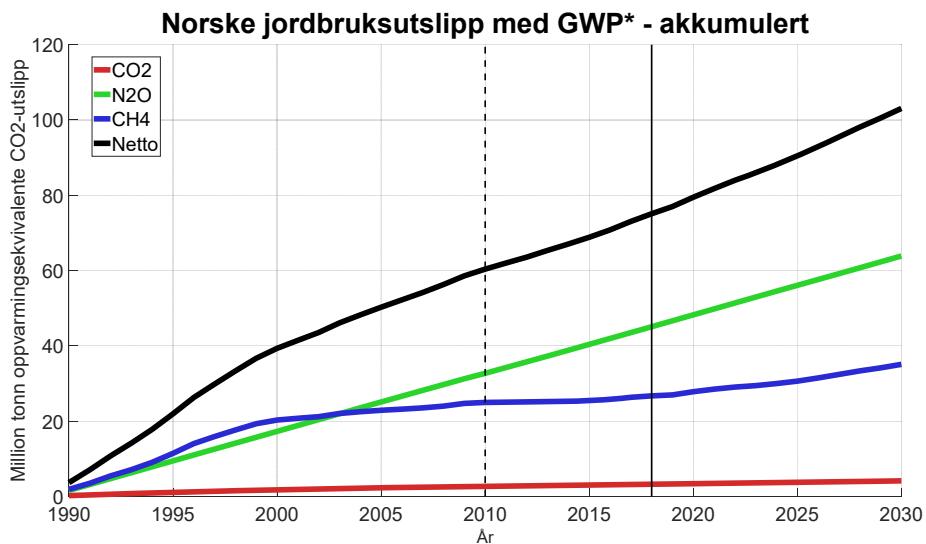
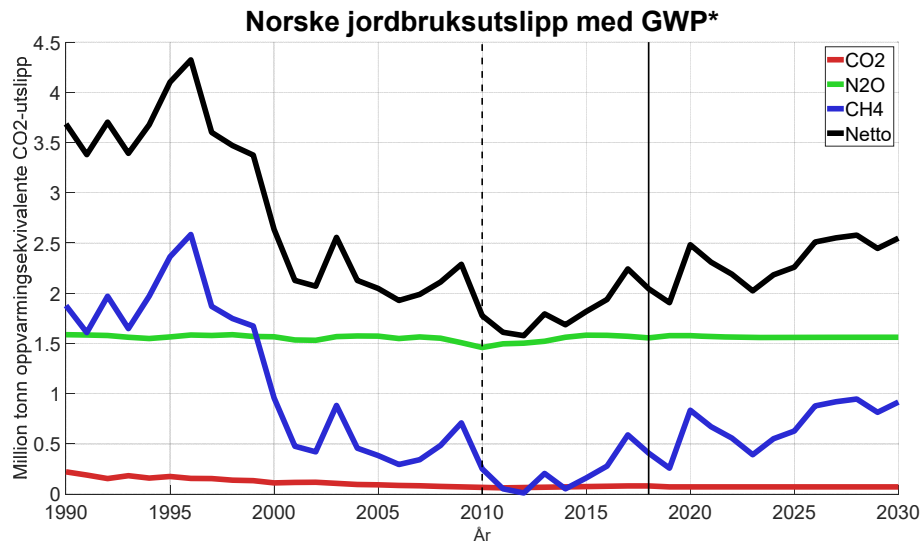
I Figur 9 viser vi utslippene fra norsk jordbruk med både GWP\* og GWP(100). Dette er den eneste plassen i denne rapporten at vi har supplert med utslippsstatistikk utover det som kommer fra Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020). Vi har gjort dette for å få en lengre tidsserie for metan, mens utvidet statistikk ikke er nødvendig for CO<sub>2</sub> og lystgass som langlevde klimagasser, slik at den øvre delen av Figur 9 får fram utviklinga med GWP\* fra 1990 til 2030 for komponentene CO<sub>2</sub>, lystgass og metan. Det er også noen små utslipp av NO<sub>x</sub> og NMVOC, men disse har vi utelatt fra figurene med GWP\* fordi de er små relativt til de andre komponentene og vi ikke har statistikk fra før 1990.



De estimerte utslippene fra før 1990 er overslag gjort av CICERO. Andre overslag gjort av andre viser litt forskjellige utslipp, men trenden er nokså lik (Haarsaker, 2019; Åby, 2019). Men fordi GWP\* er sensitiv til ganske små utslippsendringer, vil bruk av ulike utslippstidsserier kunne gi litt forskjellige resultat. Historiske utslipp av metan for drøvtyggere har blitt estimert på bakgrunn av utslippsfaktorer per gjennomsnittsdyr som en kan dra ut fra årene 1990-1994 fra rapporten Miljødirektoratet (2019a) og bruke disse på antall dyr på hvert dyreslag før 1990. Noen justeringer er gjort hvor det er diskontinuitet i den underliggende statistikken. Ved lengre tidsserier for metan, lystgass og CO<sub>2</sub> kunne vi forlenget analysen vår, mens vi her bare viser utviklinga fra 1990 i figurene.

Vi ser fra den øvre delen av Figur 9 at utslipp av metan, lystgass og CO<sub>2</sub> fra jordbruket har bidratt og vil bidra til forsterket global oppvarming gjennom hele tidsperioden 1990-2030. Utviklingen for lystgass og CO<sub>2</sub> er den samme som for GWP(100) (vist i nedre del av Figur 9), mens metan varierer en god del. Ved konstante utslipp av metan ville jordbruket ha bidratt med cirka 0,7 millioner tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp hvert eneste år, da jordbruket slipper ut ca. 100 000 tonn metan i året og hvert tonn av metanutslipp som vedvarer telles som 7 tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp (som forklart i 6.1). I de årene kurvene er under dette nivået, er det en liten nedgang i utslippene. Men siden de oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslippene aldri blir negative, er fallet aldri mer enn 1/3 %/år sett over en 20-års periode. Til sammenligning vektet metanutslippene til underkant av 3 millioner CO<sub>2</sub>-ekvivalenter med GWP(100). Det er den akkumulerte effekten over tid som er det viktigste, slik at dette vises for GWP\* i den midtre delen av Figur 9. Da ser vi at lystgass gir den største forsterkede globale oppvarmingen sett over hele perioden med mer enn 60 millioner tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp, mens metan bidrar i underkant av 40 millioner tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp. CO<sub>2</sub> gir også et lite bidrag. Forskjellen mellom GWP\* og GWP(100) for tidsperioden 1990-2030 er at for jordbruket har metan størst vekt med GWP(100) og lystgass størst vekt med GWP\*. Lystgass beregnes likt i disse to tilfellene, men blir relativt sett mer framtrekkende med GWP\* siden metan i dette konkrete eksempelet vektet svakere. For begge alternativene bidrar norsk jordbruk med CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslipp på plussida slik utslippssituasjonen er nå (i underkant av 5 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter med GWP(100) og ca. 2-3 millioner tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp med GWP\*). En kraftig reduksjon av utslippene fra norsk jordbruk kan gi et betydelig bidrag til å redusere den globale oppvarmingen som utslipp i Norge fører til. Om vi hypotetisk sett ser for oss at metanutslippene fra norsk jordbruk forsvant fra et år til et annet og ble værende i null for evig tid, ville det ha bidratt til en reduksjon i global oppvarming tilsvarende ca. 220 millioner tonn oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp utregnet med GWP\*. Dette må ikke forstås som et forslag, men viser hvordan GWP\* kan brukes og at metan kan bidra til å redusere den globale oppvarmingen vi har i dag. Jordbruk fører også til små utslipp av NO<sub>x</sub> og NMVOC, men disse utslippene er med GWP(100) små sammenlignet med metan og lystgass (se nedre del av Figur 9).

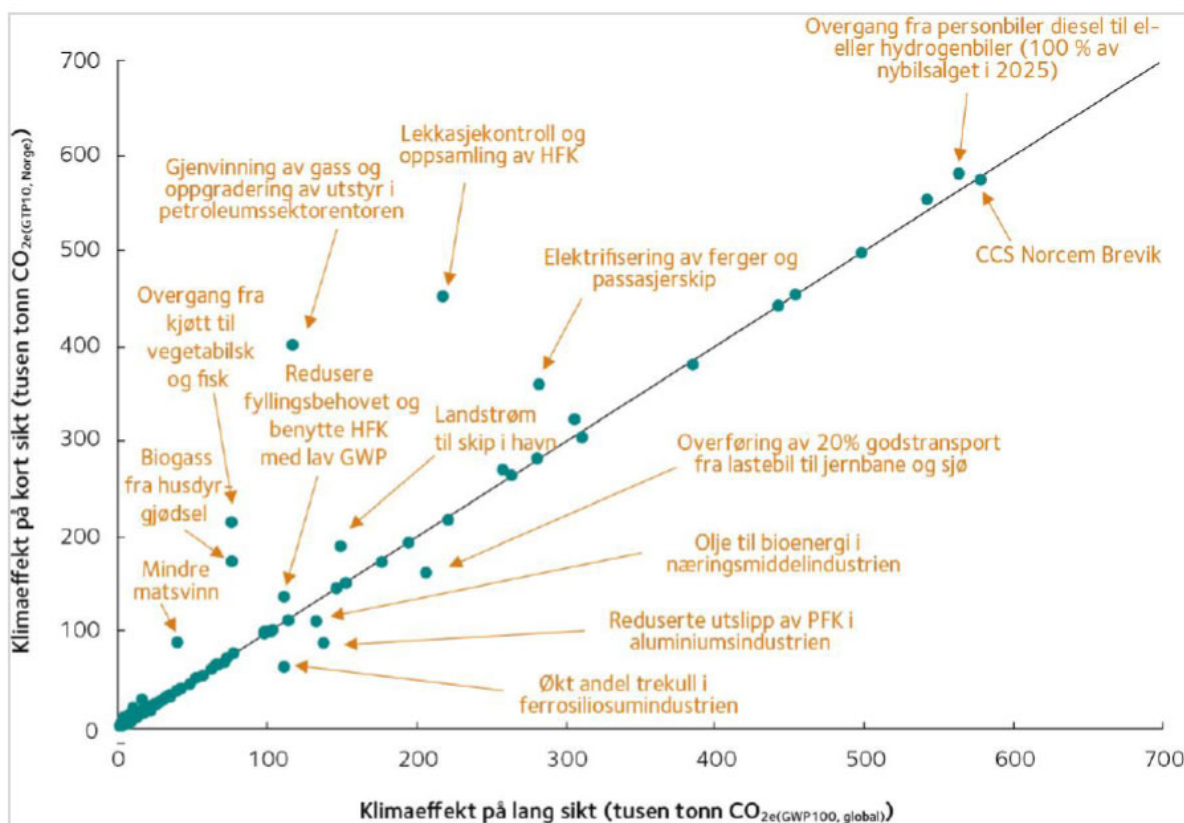
De oppvarmingsekvivalente CO<sub>2</sub>-utslipp ene vi har utregnet for norsk jordbruk stemmer i stor grad i overens med funnene i Haarsaker (2019) (se spesielt figur 3.2 og 3.3). En forskjell er at vi har basert oss på GWP(100) fra den femte hovedrapporten fra FNs klimapanel (Myhre et al., 2013), mens de bruker den fjerde hovedrapporten (IPCC, 2007). Videre bygger vi på forskjellige estimater på utslippene av metan i perioden 1970-1989, som er ganske like, men med noen forskjeller. De akkumulerte CO<sub>2</sub>-utslippene er noe høyere i denne rapporten enn i Haarsaker (2019). Ellers klarer vi ikke å gjenskape utregningene i boksen med regneeksempel på side 39 i Haarsaker (2019), men det ser ut som feilen der er gjort uavhengig av resten av analysen.



**Figur 9:** Norske jordbruksutslipp med GWP\* (øvre), GWP\* akkumulert (midtre) og GWP(100) (nedre). Den svarte linja skiller mellom historiske utslipp 1990-2018 og framskrivinger framover mot 2030. Miljødirektoratet har delt disse utslippene, som er i tråd med Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020). For GWP\* har vi forlenget historikken bakover med utslippstall for metan i perioden 1970-1989, som er basert på CICEROs egne utregninger og som ikke er en del av Klimakur. Skillet mellom tall fra CICERO og Klimakur gis med den stipla linja. Siden vi ikke har utslippsstatistikk for NO<sub>x</sub> og NMVOC fra før 1990, er disse komponentene ikke med i figuren med GWP\*. Figurene er basert på at  $\Delta\text{tid} = 20$  år i formel 2, som betyr at utslippsendringer som finner sted etter 2010 ikke får hele effekten med seg. For utslippsendringer fra 2029 til 2030 får vi bare med 1/20 av effekten når siste analyseår er 2030.

## 8 Framstille klimaeffekt på kort og lang sikt i samme figur

Det tredje spørsmålet fra Miljødirektoratet besvares her, som går på hvordan framstille klimaeffekt på kort og lang sikt visuelt i samme figur. I dag bruker Miljødirektoratet GWP(100) av Kyotogasser for klimaeffekt på lang sikt og GTP(10), Norge for klimaeffekt på kort sikt. GWP(100) står seg siden Norge må rapportere sine utslipp av Kyotogasser med den vekt faktoren. Men for kort sikt kan Miljødirektoratet selv bestemme hvilken vekt faktor eller vinkling de går for som passer best til formålet med den aktuelle analysen. I dag framstiller Miljødirektoratet klimaeffekten på kort og lang sikt i en og samme figur som vist i Figur 10.



**Figur 10:** I dag bruker Miljødirektoratet GWP(100) av Kyotogasser for klimaeffekt på lang sikt (x-aksen) og GTP(10), Norge for klimaeffekt på kort sikt av alle klimadrivere (y-aksen). Diverse klimatilak i Norge fram mot 2030 er inkludert. Rene CO<sub>2</sub>-tiltak ligger på skrålinja, mens tiltak over skrålinja bidrar også med å redusere de oppvarmende kortlevde klimadriverne. Dette er figur 4-5 fra Miljødirektoratet (2015).

Her må vi være klare over at aksene i Figur 10 ikke viser det samme. Hvis det er et ønske å se på klimaeffekter på kort og lang sikt i en framstilling, kan det være aktuelt å se på temperaturutviklingen over tid basert på absolutt GTP (AGTP). Da kan vi enkelt se hva effekten på global temperatur er av det enkelte tiltak og hvordan det varierer med tid. Det ligger ingen verdivalg bak dette (fordi hele tidsutviklingen er vist og brukeren kan selv vurdere hvilken tidshorisont som er

aktuell), som det implisitt gjør ved å velge en vektfaktor som GWP(100), GTP(10) eller GWP\*. Endring i global temperatur passer også fint mot temperaturmålene i Parisavtalen (UNFCCC, 2015). GWP\* kan også brukes, men som forklart i seksjon 7.2.4, kan det være en vanskelig øvelse å gjøre dette for enkelttiltak fordi det blant annet krever detaljert utslippsstatistikk. Vi klarer ikke å regne på tiltakene som gjennomgås i denne seksjonen med GWP\* med den informasjonen vi har til rådighet.

AGTP kan forstås som en veldig enkel klimamodell. Med denne kan vi se effekten av utslipp eller utslippstiltak på global temperatur på både kort og lang sikt. Ved å identifisere klimatiltak og estimere hvilke konsekvenser det får for utslippene over tid, vil vi da kunne modellere temperaturendringer over tid. Matematisk gjøres dette ved bruk av en konvolusjon av en utslippsprofil og AGTP for et pulsutslipp, som beskrevet i seksjon 7.2.3. Forskningsartiklene som diskuterer bruk av GWP\* (f.eks. Lynch et al., 2020) bruker en tilsvarende metode for å validere GWP\* gjennom bruk av FAIR modellen (Smith et al., 2018). Sammenhengen mellom strålingspådriv og global middeltemperatur i FAIR og med AGTP (slik vi har brukt det her dynamisk) er den samme, det vil si en impuls responsfunksjon som gir global temperaturrespons av gitt strålingspådriv. Impuls responsfunksjonen har to tidskonstanter og en klimafølsomhet basert på rapportene fra FNs klimapanel.

Miljødirektoratet har gitt oss beregninger av tiltakseffekt for ti av de 60 klimatiltakene i Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020), se Tabell 11. Disse tiltakene trer stort sett i kraft i 2021 og oppskaleres på forskjellige måter fram til 2030. Det er litt variasjon i hvor lenge det er antatt at disse tiltakene har en tiltakseffekt relativt til referansebanen. For enklere å vise hva langtidseffekten av disse tiltakene er, har vi forenklet og antatt at tiltakseffekten i 2030 holder seg konstant fram til 2100. Dette er gjort for å bedre illustrere effekten, men vi er klar over at tiltakseffekten av mange av disse tiltakene trolig vil utgå lenge før 2100. Det er også høyst usikkert hva utslippseffekten kan være så langt fram i tid. Vi har estimert endring i global temperatur i perioden 2020-2100 sammenlignet med at disse tiltakene ikke ble gjennomført.

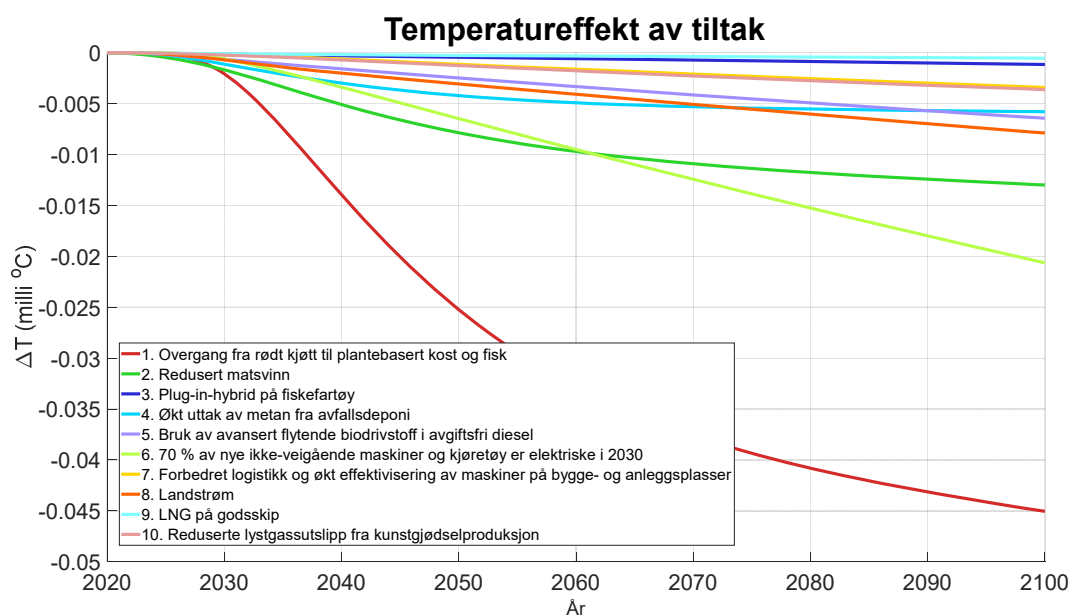
**Tabell 11:** Tiltak vi har beregnet temperatureffekt av. Tiltakene kommer fra Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020), hvor Miljødirektoratet har hentet ut utslippsreduksjoner av tiltakene fram til 2030. Tiltaksnummeret fra Klimakur 2030 er angitt i parentes etter tiltaksnavnet.

Tiltak	Beskrivelse
1	Overgang fra rødt kjøtt til plantebasert kost og fisk (J01)
2	Redusert matsvinn (J02)
3	Plug-in-hybrid på fiskefartøy (S07)
4	Økt uttak av metan fra avfallsdeponi (A01)
5	Bruk av avansert flytende biodrivstoff i avgiftsfri diesel (AT05)
6	70 % av nye ikke-veigående maskiner og kjøretøy er elektriske i 2030 (AT02)
7	Forbedret logistikk og økt effektivisering av maskiner på bygge- og anleggsplasser (AT01)
8	Landstrøm (S04)
9	LNG på godsskip (S05)
10	Reduserte lystgassutslipp fra kunstgjødselproduksjon (I10)

Disse ti tiltakene presenterer et spekter av mulige tiltak. Mange av tiltakene reduserer ikke bare utslipp av CO<sub>2</sub>, men også svart karbon, organisk karbon og NO<sub>x</sub>. Andre tiltak, de som går på diett, matsvinn, kunstgjødsel og avfallsdeponi, reduserer utslippene av metan, lystgass eller begge.

Nettoeffekten på den globale temperaturen sammenlignet med at tiltakene ikke ble gjennomført vises i Figur 11. Alle de ti tiltakene reduserer den globale temperaturen sammenlignet med referansebanen både i 2040 og i 2100. De fleste kurvene er jevnt synkende, som indikerer at kutt av

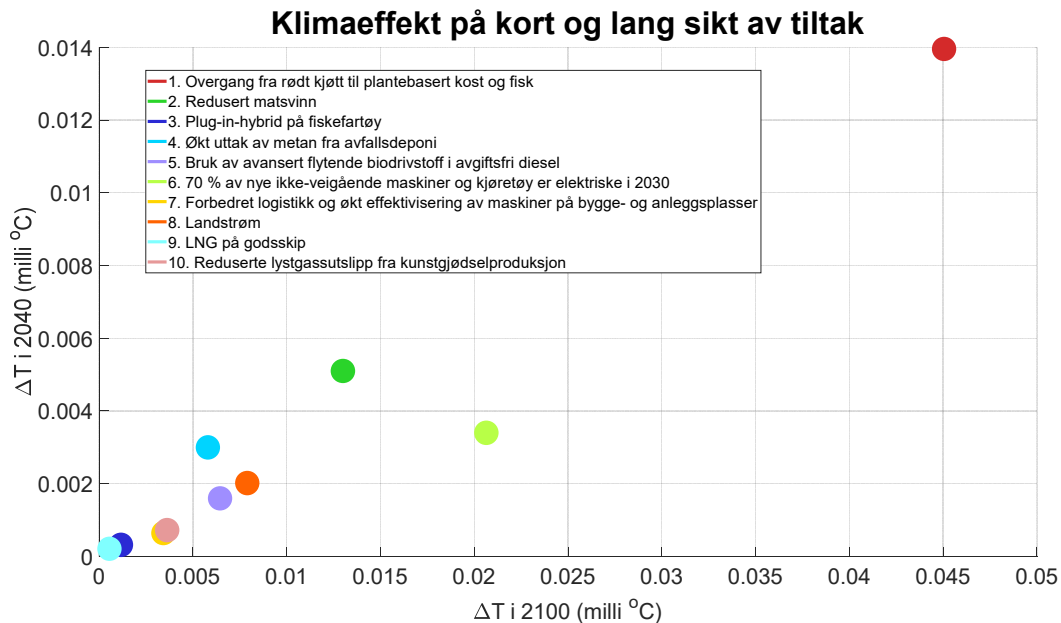
CO<sub>2</sub> er sentralt, mens andre tiltak flater ut over tid, som tyder på større kutt av oppvarmende kortlevde klimadrivere. Det siste gjelder spesielt tiltakene økt uttak av metan fra avfallsdeponi, overgang fra rødt kjøtt til plantebasert kost og fisk og redusert matsvinn. Målet i endring i global temperatur blir alle tiltak tilsynelatende små, men det betyr ikke at et tiltak lite selv om effekten er mindre enn 1/1000 °C. Det tiltaket som påvirker den globale temperaturen mest, overgang fra rødt kjøtt til plantebasert kost og fisk, bidrar med en temperaturreduksjon på knappe 0,05 tusendels °C i 2100. Alt etter hvilket tidsperspektiv som er mest relevant kan slike temperaturkurver brukes for å sammenligne ulike tiltak.



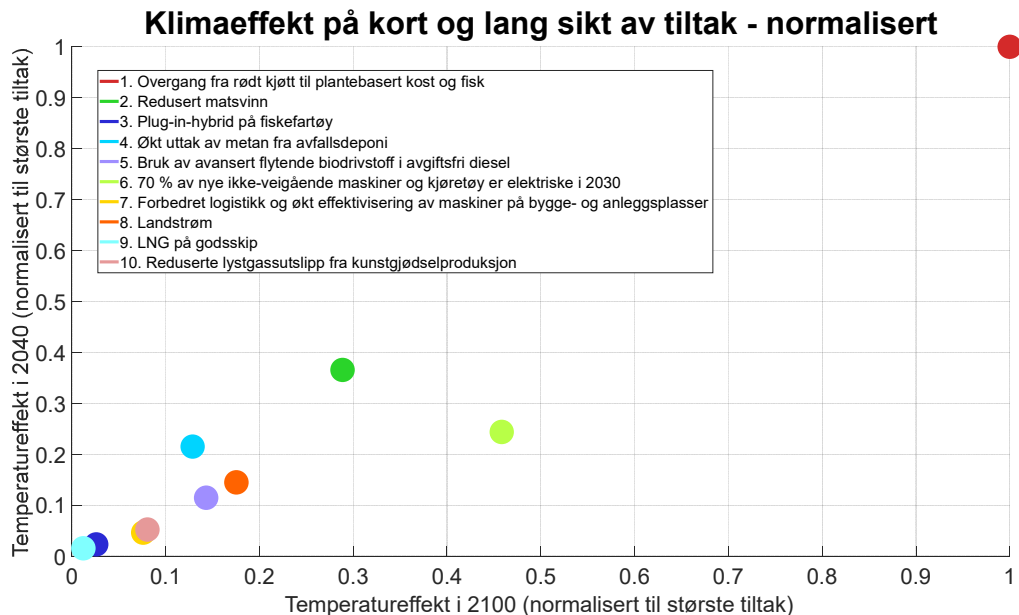
**Figur 11:** Temperatureffekten av ti tiltak over tid fram til 2030. Miljødirektoratet har delt disse tiltakene fra Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020), men hvor vi har antatt konstant tiltakseffekt fra 2030 til 2100 på 2030-nivået. Noen kurver er jevnt synkende, som indikerer at kutt av CO<sub>2</sub> er sentralt, mens andre tiltak flater ut over tid, som tyder på større kutt av oppvarmende kortlevde klimadrivere.

I den videre analysen har vi valgt å bruke temperaturreduksjonen i 2040 som et mål på kort sikt, da dette er ti år etter mållåret for Klimakur 2030, og temperaturreduksjon i 2100 som et mål på lang sikt. Andre vurderinger kan gjøres og andre tidsperspektiv kan være vel så relevante. I Figur 12 og Figur 13 ser vi på temperaturreduksjonen i 2040 og 2100, som et alternativ til det Miljødirektoratet bruker nå og som vist i Figur 8. temperaturreduksjonen av alle tiltakene øker over tid, men det skyldes at utslippsreduksjonen i 2030 videreføres på et konstant nivå. Økningen i temperaturreduksjonen fra 2040 til 2100 av tiltak ligger mellom 100 % og 500 %. Tiltak som reduserer metanutslipp ligger i den nedre enden, mens tiltak på CO<sub>2</sub> og andre langlevde klimagasser eller tiltak som gradvis fases inn er i den høye enden. Alle tiltakene fører til en reduksjon i den globale temperaturen, men hvor tiltak som er av mindre omfang gir mindre temperaturreduksjoner enn tiltak som gir større utslippsreduksjoner. Tiltaket «overgang fra rødt kjøtt til plantebasert kost og fisk» gir størst utslag på den globale temperaturen, mens de to tiltakene med minst påvirkning er «LNG på godsskip» og «plug-in-hybrid på fiskefartøy». Tiltak som gir sterk temperaturavkjøling på kort sikt (som tiltak på metan og svart karbon), vil man finne i øvre del av Figur 12 (slik som tiltakene «overgang fra rødt kjøtt til plantebasert kost og fisk» og «redusert matsvinn»), mens tiltak som gradvis fases inn og hvor effekten dermed er noe begrenset i 2040, vil ligge i nedre del (gjelder delvis for tiltaket «70% av nye ikke-veigående maskiner og kjøretøy er elektriske i 2030»). Noen av tiltakene ser relativt viktigere ut i 2040 enn 2100 sammenlignet med andre tiltak, for eksempel ved at utslippskutt av metan og svart karbon gir kjapt et stort temperaturkutt, mens effektene av tiltak som domineres av CO<sub>2</sub> blir gradvis større og dermed relativt viktigere i 2100 enn i 2040 (som for tiltaket «70% av nye ikke-veigående maskiner er elektriske i 2030»). Vi har normalisert

temperaturreponsen i Figur 13 til det tiltaket som har størst temperaturreduksjon i 2040 og 2100. I begge tilfeller er dette tiltaket overgang fra rødt kjøtt til plantebasert kost og fisk. Tiltakene legger seg stort sett på en linje fra nedre venstre hjørne til øvre høyre hjørne. Tiltaket «70 % av nye ikke-veigående maskiner og kjøretøy er elektriske i 2030» ligger på oversiden at dette fordi tiltaket gradvis oppskaleres og dermed har en begrenset påvirkning på temperaturen i 2040. På andre siden finner vi tiltakene «reduisert matsvinn» og «økt uttak av metan fra avfallsdeponi», hvor utslippsreduksjoner av metan gir en rask avkjøling.



**Figur 12:** Temperaturreduksjon i 2040 (y-aksen) og 2100 (x-aksen) av ulike tiltak. Miljødirektoratet har delt disse tiltakene fra Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020), men hvor vi har antatt konstant tiltakseffekt fra 2030 til 2100 på 2030-nivået. Tiltak som gir sterk temperaturavkjøling på kort sikt (som tiltak på metan og svart karbon), vil man i større grad finne i øvre del av figuren, mens tiltak som gradvis fases inn og hvor effekten dermed er begrenset i 2040, vil ligge i nedre del.



**Figur 13:** Samme som figuren over, men normalisert til det største tiltaket, som er overgang fra rødt kjøtt til plantebasert kost og fisk for begge dimensjoner. Dermed har dette tiltaket fått verdien 1. Miljødirektoratet har delt disse tiltakene fra Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020), men hvor vi har antatt konstant tiltakseffekt fra 2030 til 2100 på 2030-nivået.



## 9 Metodikk for kostnadsberegninger

Det fjerde temaet diskuteres her. For kostnadsberegninger følger vi den metodikken som Miljødirektoratet bruker som presentert i vedlegg 2 av Miljødirektoratet et al. (2020) og i Miljødirektoratet (2019b). Først presenterer vi hvordan dette gjøres i dag, og deretter viser vi hvordan det alternativt blir når vi er opptatt av endring i global temperatur i 2040 og 2100. Den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden (kr/tonn) beregnes normalt med denne kostnadsbrøken over hele tiltakets levetid, uavhengig av analyseperiode:

$$\frac{\text{Netto nåverdi av samlet samfunnsøkonomisk kostnad fra basisår til tiltakets slutt}}{\text{Summen av totale CO}_2\text{-ekvivalenter redusert fra basisår til tiltakets slutt}} \quad [4]$$

Her er det ikke kostnaden for enkeltindivider eller enkeltbedrifter som vurderes, men for samfunnet som helhet. Nettokostnaden er summen av merkostnader, besparelser og andre prissatte effekter. Disse kan være investerings- og anskaffelseskostnader, driftskostnader (slik som energikostnaden/energibesparelsen) og helseeffekter og andre eksterne virkninger. Alle effekter skal inkluderes og verdsettes der dette er mulig bortsett fra gevinsten ved å redusere klimagassutslippene. Når man ser på slike kostnadsberegninger, blir de sett opp mot referansebanen. Derfor er det merkostnaden og mernytten ved tiltaket som skal med, ikke kostnader eller nytte som er en del av referansebanen. Skatter, avgifter og subsidier inkluderes ikke siden de ikke er en kostnad for samfunnet som en helhet. Hvor fort tiltaket innføres vil påvirke potensialet for utslippsreduksjon og kostnaden. Endring i klimagassutslipp regnes i CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslipp med vekt faktoren GWP(100).

Som vi ser av ligning 4 beregnes den totale samfunnsøkonomiske kostnaden ved å finne netto nåverdi av kontantstrømmen (dvs. summen av alle kostnader og besparelser) i perioden fra basisåret til tiltaket ikke lengre har effekt. Netto nåverdi beregnes med en diskontering ved å bruke en kalkulasjonsrente. Kalkulasjonsrenten tar høyde for alternativ bruk av kapitalen og reflekterer avkastningen i beste alternative anvendelse. Denne diskonteringen er av Finansdepartement satt til 4 % per år.

Deretter deles denne samfunnsøkonomiske kostnaden på den totale utslippsreduksjonen målt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter over hele tiltakets levetid, uavhengig av analyseperiode. Benevnningen på tiltakskostnaden blir da kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalent redusert. Et negativt tall her betyr at tiltaket er samfunnsøkonomisk lønnsomt selv uten at verdien av reduksjonen i klimagassutslipp er verdsatt i kroner.

En alternativ kostnadsberegning i tråd med å kvantifisere klimaeffekt på henholdsvis kort og lang sikt kan gjøres ved å sette kostnaden opp mot hvor stor reduksjon tiltaket fører til i den globale temperaturen ( $\Delta T$ ) i henholdsvis 2040 og 2100. De alternativene formlene ser dermed slik ut:

$$\frac{\text{Netto nåverdi av samlet samfunnsøkonomisk kostnad fra basisår til tiltakets slutt}}{\text{reduksjon i } \Delta T \text{ av tiltaket i 2040}} \quad [5]$$

$$\frac{\text{Netto nåverdi av samlet samfunnsøkonomisk kostnad fra basisår til tiltakets slutt}}{\text{reduksjon i } \Delta T \text{ av tiltaket i 2100}} \quad [6]$$

Netto nåverdi av et tiltak er den samme om vi ser på temperaturendring i 2040 eller 2100. Det er endring i global temperatur relativ til referansebanen som brukes, som regnes ut med bruk av AGTP og som presentert i 7.2.3. Denne foreslåtte metodikken skiller seg fra standardmåten som brukes i Klimakur 2030 seg ved at vi ved å se på temperatur i 2040 ikke får med temperaturendringer etter 2040 fra utslippsreduksjonene i tiltak med levetid utover 2040. Med standardmetoden vil alle endringene i de CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene over tiltakets levetid regnes med i nevneren. Men standardmetoden tar ikke omsyn til når utslippene ble redusert, bare summen av utslippskuttet. En annen forskjell er at mens standardmetoden kun ser på endringer i klimagassutlipp (Kyotogassene), inkluderer den alternative beregningen endring i de kortlevde klimadrivere i tillegg til Kyotogassene. Tiltak som ikke reduserer den globale temperaturen ( $\Delta T$ ) bør ikke inkluderes i utregninger av tiltakskostnad, på samme måte som at standardmetoden bare brukes for tiltak som reduserer de CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene. For tiltak som reduserer den globale temperaturen, setter vi endringen i global temperatur inn i ligning 5 og 6. Grunnen til at vi ikke setter inn et negativt tall i nevneren er at vi da bare får en positiv samfunnsøkonomisk tiltakskostnad hvis netto nåverdi er negativ. Dette er samme praksis som for standardmetoden, hvor tiltakene gir en reduksjon i de CO<sub>2</sub>-ekvivalente utslippene og det er denne reduksjonen som settes inn i ligning 4. Benevnningen blir da henholdsvis kr/°C i 2040 og kr/°C i 2100. For å få mer forståelige tallverdier anbefaler vi en benevnning som viser millioner kr per milliondels grad.

Milliondels grader kan høres som veldig lite, men det er viktig å være klar over at å redusere den globale temperaturen med 1 °C krever enorme utslippsreduksjoner. Det å klare å begrense den globale oppvarmingen til 1,5 eller 2 °C vil kreve en stor internasjonal dugnad, hvor enkelttiltakene som gjøres i Norge eller i andre enkeltland vil være små sett i den store sammenhengen, men likevel sentral som en del av dugnaden hvor alle må bidra.

Endring i global temperatur for hvert tiltak regnes ut basert på utslippsendringer for ulike komponenter relativ til referansebanen. Alle utslippskomponenter, både klimagasser og kortlevde klimadrivere presentert i denne rapporten, er inkludert i utregningene.

## 9.1 Beregning på tiltak fra Klimakur

Vi viser her reelle eksempler på hvordan tiltakskostnader kan beregnes. I praksis er det utfordrende å beregne den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden av konkrete tiltak så nøyaktig som foreslått her. Dette krever kunnskap om hvor stor netto nåverdi av tiltaket er og hvordan tiltaket påvirker utslippene over tiltakets levetid. Derfor har vi vurdert alternativer og enklere metoder for å regne ut tiltakskostnader. Dette har vært et utviklingsarbeid som vi her dokumenterer, men vi anbefaler at disse forenkla metodene forsøkt utviklet av oss i denne rapporten (9.1.2) foreløpig ikke brukes.

### 9.1.1 Fullstendig metode

Miljødirektoratet har gitt oss detaljerte anslag av netto nåverdi og utslippseffekter for fem av de 60 klimatiltakene i Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020), se Tabell 12. Dette er tiltak som reduserer norske utslipp over noen tiår, for deretter å fases inn i referansebanen. Tallgrunnlaget for disse fem tiltakene er godt, med beregnet utslippsreduksjoner og netto nåverdi for hele tiltakenes levetid (også etter 2030), og derfor er disse valgt. Disse utregningene av temperatureffekter er forskjellige fra tilsvarende modellering gjort i seksjon 8, da vi i seksjon 8 antok at tiltakene hadde konstant utslippseffekt fra 2030. For en del av tiltakene i Klimakur 2030 finnes det ikke eksakte utregninger på hva netto nåverdi av kontantstrømmen er. Dessuten fokuserer Klimakur 2030 på tiltak og potensial for utslippsreduksjoner fram til 2030 og i mindre grad på hva som skjer etter 2030.

**Tabell 12:** Tiltak vi har beregnet den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden av ved å se på endring i global temperatur i 2040 og 2100. Tiltakene er identifisert av Miljødirektoratet med netto nåverdi og utslippsendringer. I tabellen viser vi også i hvilke kostnadskategorier tiltakene ligger i Klimakur 2030. Tiltaksnummeret fra Klimakur 2030 er angitt i parentes etter tiltaksnavnet. Tiltakene er hentet fra Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020).

Tiltak	Beskrivelse	Kostnadskategori (kr/tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter)
1	Konvertering til elkjeler i annen industri ("Industriiltaket") (I02)	500-1500
2	Produksjon av biogass fra husdyrgjødsel (J03)	> 1500
3	Bruk av LNG på godsskip (S05)	500-1500
4	100 % av nye personbiler er elektriske innen utgangen av 2025 ("Personbiltaket") (T05)	500-1500
5	Forsert utskifting av vedovner («Vedfyring») (O03)	< 500

Resultatene av denne analysen gis i Tabell 13. Vedfyringstiltaket, som er en forsert utskifting av vedovner, har en negativ netto nåverdi og vil dermed være samfunnsøkonomisk lønnsomt uansett hvordan utslppsreduksjonene eller temperaturreduksjonen vurderes. Dette tiltaket har tilsynelatende en større negativ tiltakskostnad i 2100 enn i 2040, som skyldes ene og alene at temperatureffekten i 2100 er mindre enn i 2040. Tiltaket er ikke billigere i 2100 enn i 2040, og per krone spart er temperaturegevinsten større i 2040 enn i 2100. Det at et tiltak har tilsynelatende større negativ tiltakskostnad når temperaturreduksjonen er minst er et paradoks som vil gjelde for alle tiltak med negativ netto nåverdi hvor det er forskjell i temperaturreduksjon mellom 2040 og 2100, noe som skyldes utregningsmåten ved bruk av brøk.

Alle de andre tiltakene har en positiv netto nåverdi og har derfor en kostnad. Endring i global temperatur av tiltakene relativ til referansebanen ligger på ca. en milliondels grad, hvor tiltaket på LNG på godsskip gir minst temperaturreduksjon og tiltakene på personbiler og vedfyring størst. Dette betyr ikke at tiltakene er ubetydelige eller uviktige, men at det er summen av en rekke slike tiltak i alle verdens land som til sammen vil gjøre Parisavtalens målsetninger mulig. For tiltak dominert av CO<sub>2</sub> (industri- og personbiltaket) er temperatureffekten nokså lik mellom 2040 og 2100. Dette skyldes at tiltakene gradvis fases inn i referansebanen rundt og i etterkant av 2040 samtidig som CO<sub>2</sub>-utslippene gir en langvarig effekt på global temperatur. For tiltak som reduserer utslipp av oppvarmende kortlevde klimadrivere (metanutslipp i biogass fra husdyrgjødsel og utslipp av sort karbon i tiltakene på vedfyring og LNG på godsskip), vil temperatureffekten av tiltaket være klart større i 2040 enn i 2100 ettersom temperaturresponsen faller raskt tilbake over noen tiår etter at tiltaket fases ut. Netto nåverdi er den samme og en forskjell i tiltakskostnaden mellom 2040 og 2100 vil da reflektere at temperatureffekten er forskjellig mellom 2040 og 2100. Tiltak på kortlevde klimadrivere vil framstå som relativt rimelige i 2040 og relativt dyre i et 2100-perspektiv. Grunnen til at tiltaket «produksjon av biogass fra husdyrgjødsel» har en høy tiltakskostnad i 2100 er at tiltaket fases ut i god tid før 2100, mens hvis utslippseffekten av tiltaket hadde vedvart (som vi antok i seksjon 8 for andre tiltak fra Klimakur 2030), hadde tiltaket ikke framstått som dyrt i 2100.

Ved å se på hvor grensene går mellom lav, middels og høy tiltakskostnad i standardmetoden brukt i Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020), ser det ut som grensen mellom lav og middels burde ligge rundt 1000 millioner kr/milliondels °C og grensen mellom middels og høy på ca. 2500 millioner kr/milliondels °C for de alternative metodene presentert her.

**Tabell 13:** Netto nåverdi, temperaturreduksjon og tiltakskostnad for både 2040 og 2100 for de ulike tiltakene Miljødirektoratet har hentet fra Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al., 2020). Temperatureffekten viser til den reduserte globale temperaturendringen som følge av tiltak. Tiltakskostnaden er vist med de tre forskjellige måtene å regne det ut på, hvor den lengst til høyre er utregnet av Miljødirektoratet med den standardiserte metoden Miljødirektoratet bruker i dag.

Tiltak	Netto nåverdi (NNV) i millioner kr	Temperatur-reduksjon i 2040 (milliondels °C)	Temperatur-reduksjon i 2100 (milliondels °C)	Tiltakskostnad i 2040 (millioner kr/milliondels °C)	Tiltaks-kostnad i 2100 (millioner kr/milliondels °C)	Tiltaks-kostnad (kr/ tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter)
Industri-tiltak	2320	1,5	2,0	1580	1160	676
Biogass fra husdyrgjødsel	4760	1,9	0,31	2570	15 300	2910
LNG på godsskip	164	0,23	0,11	728	1480	1430
Personbil-tiltak	14800	5,2	7,5	2830	1960	1100
Vedfyring	-3010	13	1,5	-233	-2060	-1160

Deretter vurderer vi hvordan de forskjellige metodene for tiltakskostnader påvirker rangeringen mellom tiltakene. I Tabell 14 rangerer vi tiltakene fra billigst til dyrest. I alle tre variantene kommer vedfyringstiltaket klart billigst ut siden det har en negativ netto nåverdi. Rangeringene er ganske like, men med et mer kortsiktig perspektiv med temperaturendring i 2040 vil tiltak rettet mot CO<sub>2</sub> framstå som relativt dyrere og tiltak rettet mot oppvarmende kortlevde klimadrivere framstå som relativt billige sammenlignet med temperatur i 2100 og standardmetoden Miljødirektoratet bruker i dag. Personbiltiltaket har dermed den største tiltakskostnaden når vi bruker temperatur i 2040, men blir rangert midt på som nr. 3 med dagens standardmetode.

**Tabell 14:** Rangering av tiltak etter tiltakskostnad, fra lav (1) til høy (5). Denne rangeringen er basert på tiltakskostnadene som presenteres i Tabell 13.

Tiltak	Tiltakskostnad i 2040	Tiltakskostnad i 2100	Standard tiltakskostnad
Industri-tiltak	3	2	2
Biogass fra husdyrgjødsel	4	5	5
LNG på godsskip	2	3	4
Personbiltiltak	5	4	3
Vedfyring	1	1	1

### 9.1.2 Forenkla metode

Dessverre er datagrunnlaget mangelfullt for de fleste tiltak og metoden presentert i seksjon 9.1.1 er per i dag ikke mulig å bruke for alle tiltakene i Klimakur 2030. Dette gjelder trolig også i framtidige analyser av tiltak. Derfor presenterer vi her forenkla metoder utviklet i dette prosjektet. Dessverre er det flere svakheter med disse metodene. Vi anbefaler derfor at disse forenkla metodene foreløpig ikke brukes, men presenterer dem likevel her for å dokumentere utviklingsarbeidet vi har gjort og fordi det kan danne grunnlag for framtidig arbeid om Miljødirektoratet ønsker å undersøke dette nærmere.

I alternative utregningsmåter har vi tatt utgangspunkt i kostnadskategoriene for å estimere netto nåverdi fordi kostnadskategoriene er gitt for alle tiltakene i Klimakur 2030 (Miljødirektoratet et al.,

2020). Dette gir i best fall bare en pekepinn ettersom vi da ikke har en nøyaktig netto nåverdi. Vi har valgt å bruke øvre grenseverdi for tiltakskostnader, men et mulig alternativ er å gå for middelverdien innenfor hver kostnadskategori hvis denne informasjonen er tilgjengelig. En mulig måte å estimere netto nåverdi på er da å multiplisere øvre grenseverdi i kostnadskategorien med utslippsreduksjonen for å finne en indikator for netto nåverdi:

$$\text{omtrentlig NNV} = \text{kostnadskategori}_{\text{øvre}} \times \text{utslipp i CO}_2\text{-ekvivalenter} \quad [7]$$

Dette har vi to varianter av, den ene der vi ser på hele tiltakets levetid og den andre hvor vi bare tar med utslippseffekt fram til og med 2030. I utslippene regner vi her bare med Kyotogassene omregnet med GWP(100), i tråd med vanlig praksis og i tråd med hvordan kostnadskategoriene er definert. For tiltak i kostnadskategori <500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter bruker vi verdien 500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, for tiltak i kostnadskategori 500-1500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter bruker vi verdien 1500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, mens vi for tiltak i kostnadskategori >1500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter har vi i samråd med Miljødirektoratet brukt 2500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Med denne omtrentlige netto nåverdien og utslippsprofiler for hvert enkelt tiltak, kan vi regne ut tiltakskostnader basert på temperaturendring i 2040 og 2100.

Først tar vi den forenkla metoden hvor vi ser på utslippene over hele tiltakets levetid (se Tabell 15). Dette er en forenkling, men er neppe anvendbar fordi utslippseffektene for de fleste tiltak vil ikke være tilgjengelig over hele tiltakets levetid. Hvis det hadde vært tilgjengelig, kunne vi ha brukt den fullstendige metoden, gitt at vi har netto nåverdi for hele tiltakets levetid. Temperatureffekten i 2040 og 2100 er identisk med den som er utregnet med den fullstendige metoden fordi de begge er basert på utslippseffektene over hele tiltakets levetid. Netto nåverdi er forskjellig fordi vi her bruker den omtrentlige netto nåverdien utregnet i ligning 7. Den estimerte netto nåverdien vil i de fleste tilfeller være høyere enn den mer nøyaktige estimerte netto nåverdien som er vist i Tabell 13 (dette gjelder for fire av fem analyserte tiltak), med unntak av tiltak som har tiltakskostnader på over 2500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (biogass fra husdyrgjødsel). Tiltak som egentlig har negative netto nåverdier, vil med denne metoden ikke få en negativ netto nåverdi fordi vi bruker tiltakskostnad på 500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (vedfyringstiltaket). Dermed får heller ikke tiltaket mot vedfyring noen negativ tiltakskostnad med denne alternative metoden. Rangeringen av tiltak er nokså lik, men med noen endringer fordi de tre tiltakene som er vurdert i middels kostnadskategori (500-1500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter) ikke skilles mellom på samme måte som for fullstendig metode. Dette er spesielt synlig når vi sammenligner industritiltak og LNG på godsskip fordi disse to tiltakene er i hver sin ende av kostnadskategorien 500-1500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

**Tabell 15:** Alternativ utregning av tiltakskostnader hvor netto nåverdi er omtrentlig utregnet basert på ligning 7. Netto nåverdi og utslipp er tatt med for hele tiltakenes levetid. Tabellen kan sammenlignes med Tabell 13.

Tiltak	Estimert netto nåverdi (NNV) i millioner kr	Temperatur-reduksjon i 2040 (milliondels °C)	Temperatur-reduksjon i 2100 (milliondels °C)	Tiltaks-kostnad i 2040 (millioner kr/milliondels °C)	Tiltaks-kostnad i 2100 (millioner kr/milliondels °C)
Industritiltak	5140	1,5	2,0	3510	2580
Biogass fra husdyrgjødsel	4090	1,9	0,31	2210	13 200
LNG på godsskip	273	0,23	0,11	1210	2460
Personbiltiltak	19300	5,2	7,5	3690	2570
Vedfyring	1290	13	1,5	100	887

Til slutt ser vi på den mest forenkla metoden, hvor vi bare ser på effekten av reduserte utslipp fra tiltaket fram til og med 2030 (se Tabell 16). Dette testet vi ut fordi vi har utslippsdata fram til 2030 for alle tiltakene. Da regnes estimert netto nåverdi bare på utslippseffekten fram til og med 2030, men dette er ikke kompatibelt med hvordan tiltakene plasseres i kostnadskategorier i bl.a. Klimakur, hvor den samfunnsøkonomiske kostnaden over hele tiltakets levetid vurderes. Dermed inkluderer denne forenkla metoden egentlig for mye forenklinger. Videre vil det være store usikkerheter i denne måten å beregne netto nåverdi på. Dette påvirker deretter utregningene av tiltakskostnader. Resultatet er at denne metoden kan virke mot sin hensikt og medføre mer forvirring enn pålitelig informasjon. Denne alternative metoden kan være eneste mulighet å regne på tiltakskostnader på mange tiltak fordi datagrunnlaget er lite, men vi vil likevel fraråde bruk av denne metoden.

Både estimert netto nåverdi og temperatureffekter i 2040 og 2100 vil være lavere enn hvis vi baserte oss på hele tiltakets levetid. Tiltakskostnad i 2040 vil være lavere bortsett fra LNG på godsskip, mens tiltakskostnaden i 2100 alltid er høyere for disse fem tiltakene. Som for den første forenkla metoden vil vedfyring ikke ha negative tiltakskostnader, men er likevel det tiltaket med lavest kostnad per milliondels °C. Hvilke tiltak som har høyest tiltakskostnad i 2040 og 2100 er det også i samsvar med den fullstendige metoden. For de andre tiltakene varierer rangeringa av tiltakene noe, hvor spesielt industritiltaket vurderes høyere opp på kostnadsspektret enn med den fullstendige metoden. De fleste tiltakene har en høyere tiltakskostnad med den forenkla metoden sammenlignet med den fullstendige metoden, men med en del variasjon. Den forenkla metoden kan gi en pekepinn på tiltakskostnader, men gir på langt nær noe nøyaktig estimat.

**Tabell 16:** Alternativ utregning av tiltakskostnader hvor netto nåverdi er omtrentlig utregnet basert på ligning 7. Netto nåverdi og utslipp er basert på tiltakseffekten bare fram til og med 2030. Tabellen kan sammenlignes med Tabell 13 og Tabell 15.

Tiltak	Estimert netto nåverdi (NNV) i millioner kr	Temperatur-reduksjon i 2040 (milliondels °C)	Temperatur-reduksjon i 2100 (milliondels °C)	Tiltakskostnad i 2040 (millioner kr/milliondels °C)	Tiltakskostnad i 2100 (millioner kr/milliondels °C)
Industritiltak	1540	0,66	0,59	2330	2620
Biogass fra husdyrgjødsel	737	0,73	0,031	1000	23 900
LNG på godsskip	112	0,085	0,045	1310	2500
Personbiltiltak	6030	2,5	2,3	2370	2610
Vedfyring	255	3,4	0,19	74	1370

Generelt sett ser vi at forskjellen i tiltakskostnad mellom 2040 og 2100 er relativ liten for tiltak som domineres av CO<sub>2</sub>-utslippskutt (industri- og personbiltiltaket) og er mye større for tiltak som i hovedsak reduserer utslippene av metan, sort karbon og andre oppvarmende kortlevde klimadrivere (metanutslipp i biogass fra husdyrgjødsel og utslipp av sort karbon i tiltakene på vedfyring og LNG på godsskip). Dette skyldes at temperatureffekten av å kutte oppvarmende kortlevde klimadrivere for en kortere periode er størst under tiltakets levetid, for deretter å reduseres hurtig i tiårene i etterkant. Dermed blir tiltakskostnaden for tiltak som går på oppvarmende kortlevde klimadrivere langt mindre i 2040 enn i 2100. Tiltak som reduserer utslippene av CO<sub>2</sub> over en periode vil derimot gi en langvarig effekt på global temperatur.

# Referanser

- Allen, M., Cain, M. and Shine, K. 2017. Climate metrics under ambitious mitigation. Oxford Martin Programme on Climate Pollutants.
- Allen, M., Cain, M., Lynch, J. and Frame, D. 2018a. Climate metrics for ruminant livestock. Oxford Martin Programme on Climate Pollutants.
- Allen, M. R., Fuglestedt, J. S., Shine, K. P., Reisinger, A., Pierrehumbert, R. T. and co-authors 2016. New use of global warming potentials to compare cumulative and short-lived climate pollutants. *Nature Climate Change* **6**, 773.
- Allen, M. R., Shine, K. P., Fuglestedt, J. S., Millar, R. J., Cain, M. and co-authors 2018b. A solution to the misrepresentations of CO<sub>2</sub>-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *npj Climate and Atmospheric Science* **1**, 16.
- Cain, M., Lynch, J., Allen, M. R., Fuglestedt, J. S., Frame, D. J. and co-authors 2019. Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. *npj Climate and Atmospheric Science* **2**, 29.
- Collins, W. J., Frame, D. J., Fuglestedt, J. S. and Shine, K. P. 2020. Stable climate metrics for emissions of short and long-lived species—combining steps and pulses. *Environmental Research Letters* **15**, 024018.
- Etminan, M., Myhre, G., Highwood, E. J. and Shine, K. P. 2016. Radiative forcing of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide: A significant revision of the methane radiative forcing. *Geophysical Research Letters* **43**, 12,614–612,623.
- Hodnebrog, Ø., Etminan, M., Fuglestedt, J. S., Marston, G., Myhre, G. and co-authors 2013. Global Warming Potentials and Radiative Efficiencies of Halocarbons and Related Compounds: A Comprehensive Review. *Reviews of Geophysics* **51**, 300-378.
- Hodnebrog, Ø., Aamaas, B., Berntsen, T. K., Fuglestedt, F. S., Myhre, G. and co-authors 2014. Climate impact of Norwegian emissions of short-lived climate forcers. Center for International Climate and Environmental Research – Oslo (CICERO), Oslo, Norway.
- Haarsaker, V. 2019. Metan - ny metodikk for en kortlevd klimagass. AgriAnalyse, Oslo, 63.
- IPCC 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- Lynch, J. M., Cain, M., Pierrehumbert, R., T. and Allen, M. 2020. Demonstrating GWP\*: a means of reporting warming-equivalent emissions that captures the contrasting impacts of short- and long-lived climate pollutants. *Environmental Research Letters*.
- Miljødirektoratet 2013. Forslag til handlingsplan for norske utslipp av kortlevde klimadrivere, 235.
- Miljødirektoratet 2015. Klimatiltak mot 2030. Klimaeffekt på kort sikt og helseeffekter.
- Miljødirektoratet 2019a. Greenhouse Gas Emissions 1990-2017, National Inventory Report, 538.
- Miljødirektoratet 2019b. Metodikk for tiltaksanalyser – oppdatert versjon 2019, 33.



- Miljødirektoratet, ENOVA, Statens Vegvesen, Kystverket, Landbruksdirektoratet and co-authors 2020. Klimakur 2030. Tiltak og virkemidler mot 2030.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, B., Fuglestedt, J. S. and co-authors 2013. 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* eds. Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen *et al.*). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Reisinger, A. and Clark, H. 2018. How much do direct livestock emissions actually contribute to global warming? *Global Change Biology* **24**, 1749-1761.
- Shindell, D., Borgford-Parnell, N., Brauer, M., Haines, A., Kuylenstierna, J. C. I. and co-authors 2017. A climate policy pathway for near- and long-term benefits. *Science* **356**, 493-494.
- Shine, K. P., Fuglestedt, J. S., Hailemariam, K. and Stuber, N. 2005. Alternatives to the Global Warming Potential for Comparing Climate Impacts of Emissions of Greenhouse Gases. *Climatic Change* **68**, 281-302.
- Shine, K. P., Berntsen, T., Fuglestedt, J. S., Stuber, N. and Skeie, R. B. 2007. Comparing the climate effect of emissions of short and long lived climate agents. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* **365**, 1903-1914.
- Smith, C. J., Forster, P. M., Allen, M., Leach, N., Millar, R. J. and co-authors 2018. FAIR v1.3: a simple emissions-based impulse response and carbon cycle model. *Geosci. Model Dev.* **11**, 2273-2297.
- UNFCCC 2015. *Paris Agreement*, United Nations.
- Åby, B. A. 2019. Dokumentasjon til beregninger i prosjektet "Metanutslipp fra norsk husdyrhold - mot økt forståelse?". NMBU.
- Aamaas, B., Peters, G. P., Fuglestedt, F. S. and Berntsen, T. K. 2012. How to compare different short-lived climate forcers - a review of emission metrics. Center for International Climate and Environmental Research – Oslo (CICERO), Oslo, Norway.
- Aamaas, B., Hodnebrog, Ø., Samset, B. H., Fuglestedt, F. S., Myhre, G. and co-authors 2015. Oppdaterte vektfaktorer for BC og OC. Center for International Climate and Environmental Research – Oslo (CICERO), Oslo, Norway.
- Aamaas, B. and Myhre, G. 2018. Kunnskapsstatus på metan. CICERO.
- Aamaas, B. and Berntsen, T. K. 2019. Vurdering av ulike vektfaktorer. CICERO.



**CICERO** is Norway's foremost institute for interdisciplinary climate research. We help to solve the climate problem and strengthen international climate cooperation by predicting and responding to society's climate challenges through research and dissemination of a high international standard.

CICERO has garnered attention for its research on the effects of manmade emissions on the climate, society's response to climate change, and the formulation of international agreements. We have played an active role in the IPCC since 1995 and eleven of our scientists contributed the IPCC's Fifth Assessment Report.

- We deliver important contributions to the design of international agreements, most notably under the UNFCCC, on topics such as burden sharing, and on how different climate gases affect the climate and emissions trading.
- We help design effective climate policies and study how different measures should be designed to reach climate goals.
- We house some of the world's foremost researchers in atmospheric chemistry and we are at the forefront in understanding how greenhouse gas emissions alter Earth's temperature.
- We help local communities and municipalities in Norway and abroad adapt to climate change and in making the green transition to a low carbon society.
- We help key stakeholders understand how they can reduce the climate footprint of food production and food waste, and the socioeconomic benefits of reducing deforestation and forest degradation.
- We have long experience in studying effective measures and strategies for sustainable energy production, feasible renewable policies and the power sector in Europe, and how a changing climate affects global energy production.
- We are the world's largest provider of second opinions on green bonds, and help international development banks, municipalities, export organisations and private companies throughout the world make green investments.
- We are an internationally recognised driving force for innovative climate communication, and are in constant dialogue about the responses to climate change with governments, civil society and private companies.

CICERO was founded by Prime Minister Syse in 1990 after initiative from his predecessor, Gro Harlem Brundtland. CICERO's Director is Kristin Halvorsen, former Finance Minister (2005-2009) and Education Minister (2009-2013). Jens Ulltveit-Moe, CEO of the industrial investment company UMOE is the chair of CICERO's Board of Directors. We are located in the Oslo Science Park, adjacent to the campus of the University of Oslo.