

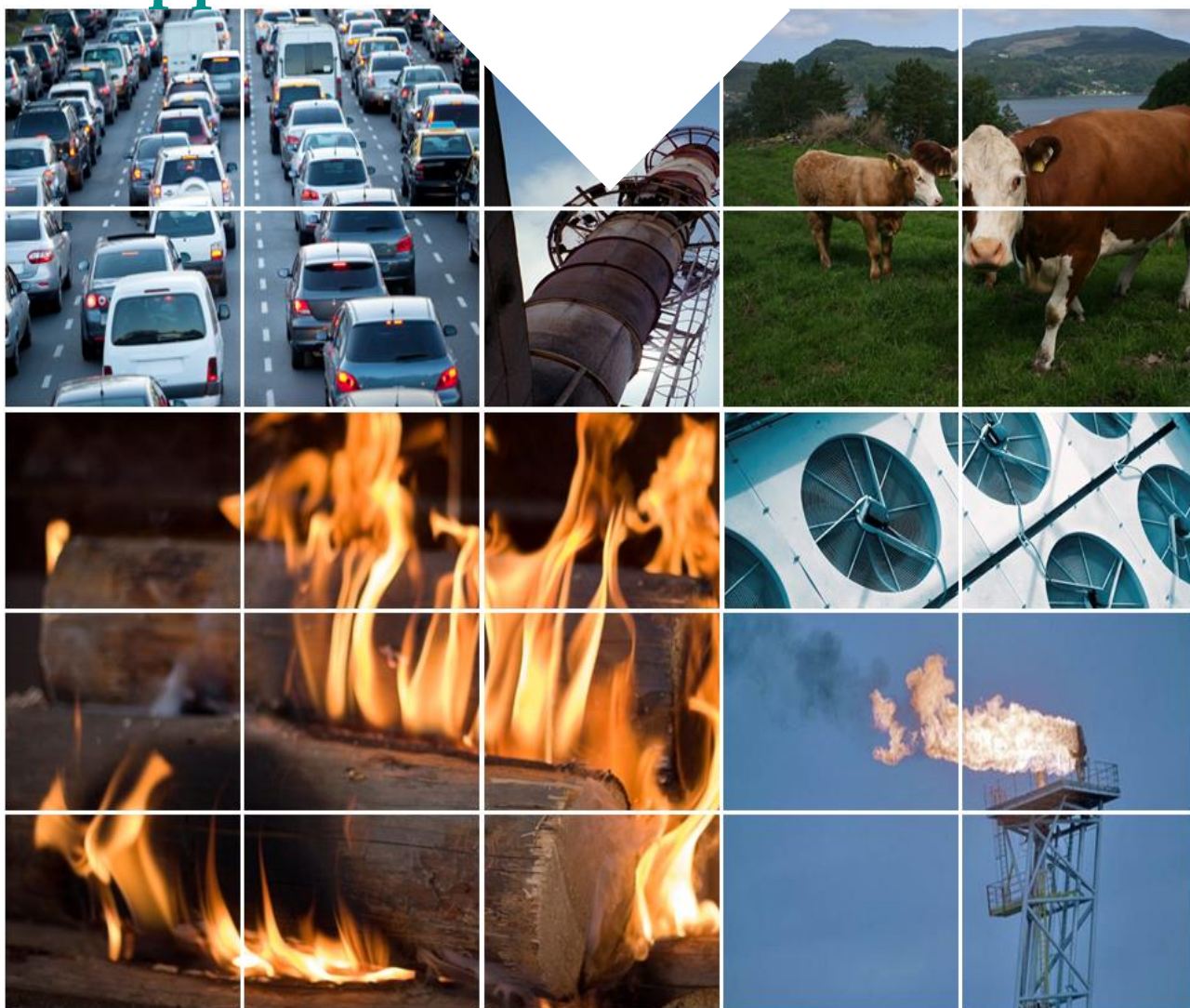


MILJØ-
DIREKTORATET

RAPPORT

M89/2013

Forslag til handlingsplan for norske utslipp av kortlevde klimadrivere



KOLOFON

Utførende institusjon

Miljødirektoratet

Oppdragstakers prosjektansvarlig

Miljødirektoratet

Kontaktperson i miljødirektoratet

Solrun Figenschau Skjellum

M-nummer

89

År

2013

Sidetall

235

Miljødirektoratets kontraktnummer

[Kontraksnummer]

Utgiver

Miljødirektoratet

Prosjektet er finansiert av

Miljødirektoratet med noe bidrag fra ACAP

Forfatter(e)

Solrun Figenschau Skjellum, Vigdis Vestreng, Maria Malene Kvalevåg, Alice Gaustad, Christine Maas, Isabella Kasin, Bjørn Christensen, Sissel Sandgrind, Lars Petter Bingh, Torgrim Asphjell, Elin Økstad, Harold Leffertstra, Hans Haukaas

Tittel - norsk og engelsk

Forslag til handlingsplan for norske utslipp av kortlevde klimadrivere
Proposed action plan for Norwegian emissions of short-lived climate forcers

Sammendrag - summary

Miljødirektoratet har på oppdrag fra Miljøverndepartementet utarbeidet et forslag til en handlingsplan for å redusere kortlevde klimadrivere innen 2030. Oppdraget har bestått i å foreta en helhetlig analyse av hvilke klima-, helse- og miljøeffekter som kan oppnås ved å redusere norske utslipp av kortlevde klimadrivere innen 2030, og på denne bakgrunnen anbefale et sett tiltak og virkemidler.

I tråd med mandatet har vi også gitt en oversikt over tilgjengelig overvåkingsdata for kortlevde klimadrivere og vurdere hvorvidt etablert overvåking dekker forvaltningens behov. ▢

4 emneord

Kortlevde klimadrivere, klima, svart karbon, tiltak

4 subject words

Short-lived climate forcers, climate, black carbon, measures

Forsidefoto

iStockphoto, Scanpix, Bjarne Bekkeheien Aase (Nationen)

Forord

Miljødirektoratet har på oppdrag fra Miljøverndepartementet utarbeidet et forslag til en handlingsplan for å redusere kortlevde klimadrivere innen 2030.

Oppdraget har bestått i å gi en helhetlig vurdering av klima-, helse- og miljøeffekter av norske utslipp av kortlevde klimadrivere, foreslå tiltak og virkemidler for å redusere slike effekter innen 2030 og vurdere behovet for ytterligere overvåkning av disse komponentene.

Miljødirektoratet har hatt en tverrfaglig prosjektorganisasjon for arbeidet med handlingsplanen. Solrun Figenschau Skjellum har vært prosjektleder. Vigdis Vestreng har vært fagansvarlig. Vi har samarbeidet med flere eksterne aktører, men Miljødirektoratet er alene ansvarlig for innholdet i rapporten.

Vi takker alle våre bidragsytere for nyttige innspill!

Oslo, desember 2013

Audun Rosland
avdelingsdirektør
Miljødirektoratet

Preface

The Norwegian Environment Agency, on behalf of the Ministry of the Environment, has prepared a proposal for an action plan to reduce short-lived climate forcers by 2030.

The objective of the assignment has been to give an integrated assessment of climate, health and environmental effects of Norwegian emissions of short-lived climate forcers, propose measures and instruments for reducing such effects by 2030 and evaluate the need for additional monitoring of these components.

The interdisciplinary project team of the Norwegian Environment Agency has been managed by Solrun Figenschau Skjellum. Vigdis Vestreng has been the scientific supervisor of the project. We have cooperated with several external organisations, but the Norwegian Environment Agency is sole responsible for the content of the report.

We would like to thank all contributors for useful input!

Oslo, December 2013

Audun Rosland
Head of the Climate Department
Norwegian Environment Agency

Innhold

Forord	2
Preface	4
Sammendrag	14
Summary	34
Innledning	54
Bakgrunn for forslaget til handlingsplan for kortlevde klimadrivere	54
Mandat for arbeidet	55
Organisering av arbeidet	56
Metodisk tilnærming	56
Del I: Klima-, helse- og miljøeffekt av kortlevde klimadrivere	58
1. Norske utslipp av kortlevde klimadrivere	59
1.1. Svart karbon (BC)	60
1.1.1. Definisjon av BC	60
1.1.2. Norske utslipp av BC	61
1.2. Ozon (O ₃) og ozonforløperne	63
1.2.1. Karbonmonoksid (CO)	63
1.2.2. Flyktige organiske forbindelser med unntak av metan (nmVOC)	64
1.2.3. Nitrogenoksider (NO _x =NO+NO ₂)	64
1.3. Metan (CH ₄)	64
1.4. Hydrofluorkarboner (HFK-er)	64

1.5. Organisk karbon (OC)	65
1.5.1. Definisjon av OC	65
1.5.2. Norske utslipp av OC	65
1.6. Svoveldioksid (SO ₂)	67
2. Effekter av kortlevde klimadrivere	68
2.1. Klimaeffekt av kortlevde klimadrivere	68
2.2. Valg av vektfaktor for global klimaeffekt av norske utslipp	69
2.2.1. Valg av beregningsmetodikk:	69
2.2.2. Valg av tidsperiode	70
2.2.3. Regionalitet	70
2.3. Global klimaeffekt av norske utslipp	71
2.4. Svart karbon (BC)	72
2.4.1. Global klimaeffekt av norske utslipp av svart karbon	74
2.5. Ozon (O ₃)	75
2.5.1. Global klimaeffekt av norske utslipp av ozonforløpere	75
2.6. Metan (CH ₄)	76
2.6.1. Global klimaeffekt av norske metanutslipp	77
2.7. Hydrofluorkarboner (HFK-er)	77
2.7.1. Global klimaeffekt av norske HFK-utslipp	77
2.8. Betydning av organisk karbon (OC) og svoveldioksid (SO ₂)	78
2.9. Vektfactorens betydning for klimaeffekten	78

2.10.	Referansebane for tiltaksutredninger	79
2.11.	Helse- og miljøeffekt av kortlevde klimadrivere	83
2.11.1.	Svart karbon (BC).....	84
2.11.2.	Ozon (O ₃)	86
2.11.3.	NOx	90
2.11.4.	Metan (CH ₄).....	91
2.11.5.	HFK-er	92
2.12.	Vurdering av helse- og miljøeffekter i tiltaksanalyser	92
2.12.1.	Verdsetting av helse- og miljøeffekter	92
2.12.2.	Alternative måter å kvantifisere helse- og miljøeffekter	93
2.13.	Overvåking av kortlevde klimadrivere, OC og sulfatpartikler	94
2.13.1.	Statlig overvåking	94
2.13.2.	Overvåking av lokal luftforurensning	98
2.13.3.	Hovedfunn fra norsk statlig overvåking av kortlevde klimadrivere	98
2.13.4.	Framtidig overvåking i Norge.....	100
2.13.5.	Internasjonal overvåking og overvåkingsnettverk	100
3.	Hovedfunn i del I: Klima-, helse- og miljøeffekt av kortlevde klimadrivere	102
3.1.	Oppsummering av klima-, helse- og miljøeffekt av kortlevde klimadrivere i Norge ..	102
3.2.	Metodikk for beregning av klimaeffekt av tiltak.....	104
3.2.1.	Samlet klimaeffekt for tiltak.....	104
3.2.2.	Reduksjoner av kortlevde klimadrivere som del av et større bilde	105

3.2.3. Referansebane og felles tiltaksanalyser	105
3.2.4. Valg av vektfaktor	105
3.2.5. Er det mulig å oppnå både klima-, helse- og miljøgevinst for alle tiltak?	105
3.2.6. Kortlevde klimadrivere i et langsiktig perspektiv	106
3.2.7. Mulige nasjonale mål for kortlevde klimadrivere	106
3.3. Internasjonalt arbeid med kortlevde klimadrivere	106
3.4. Styrket nasjonal koordinering av arbeidet med kortlevde klimadrivere	106
3.5. Behov for ytterligere kunnskap	107
3.5.1. Forbedringer i Norges offisielle utslippsregnskap	107
3.5.2. Vurdering av helse- og miljøeffekter	107
3.5.3. Forskning på kortlevde klimadrivere	108
3.5.4. Overvåking	108
3.5.5. Kunnskapsoverføring	110
Del II: Tiltaksanalyse for kortlevde klimadrivere	112
4. Forutsetninger for tiltaksanalysen	113
4.1. Overordnet beskrivelse av sektorene	113
4.2. Utslipp fra tiltakssektorene	114
4.2.1. Metodisk tilnærming og oversikt over utredete tiltak	116
4.2.2. Oversikt over utredete tiltak	117
5. Sektorvis beskrivelse av tiltakene og mulige virkemidler	120
5.1. Petroleum	120

5.1.1. Utslipp og framskrivninger	120
5.1.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler	121
5.1.3. Andre reduksjonsmuligheter	125
5.2. Industri	127
5.2.1. Utslipp og framskrivninger	127
5.2.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler	127
5.2.3. Andre reduksjonsmuligheter	128
5.3. Oppvarming i husholdninger	129
5.3.1. Utslipp og framskrivning	129
5.3.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler	130
5.4. Transport	133
5.4.1. Utslipp av kortlevde klimadrivere	133
5.4.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler	133
5.5. Jordbruk	137
5.5.1. Utslipp av kortlevde klimadrivere	137
5.5.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler	138
5.6. HFK-er i produkter	141
5.6.1. Utslipp og framskrivninger	141
5.6.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler	142
5.7. Tverrgående virkemidler	143
6. Resultater og vurderinger	144

6.1. Resultater av tiltaksanalysen	144
6.1.1. Klimaeffekt av tiltakene	144
6.1.2. Helseeffekt av tiltakene	146
6.1.3. Miljøeffekt av tiltakene	146
6.1.4. Kostnadseffektivitet av de ikke-overlappende tiltakene	147
6.2. Vurderinger av tiltak og virkemidler	149
6.2.1. Oppsummering av resultatene for hvert tiltak	149
6.2.2. Helhetlig vurdering og valg av tiltak	156
6.2.3. Usikkerheter og følsomhetsanalyser	163
6.2.4. Behov for videre tiltaks- og virkemiddelutredninger	167
6.2.5. Sammenligning med andre studier	167
Referanser	168
Vedlegg 1: Ordliste	174
Vedlegg 2: Akronymer og forkortelser	180
Vedlegg 3: Internasjonalt samarbeid og forpliktelser	182
Vedlegg 4: Norske utslipp av andre kortlevde klimadrivere enn BC og OC, samt SO ₂	186
Vedlegg 5: Resultater av norsk overvåkning	194
Vedlegg 6: Metode for beregning av utslippsestimater og framskrivninger	202
Vedlegg 7: Metode for tiltaksanalysen	208
Vedlegg 8: Nasjonale og globale vektfactorer for beregning av klimaeffekt	210
Vedlegg 9: Verdsetting av helseeffekter	214

Vedlegg 10: Eksisterende nasjonale virkemidler for kortlevde klimadrivere	216
Vedlegg 11: Usikkerheter og følsomhetsanalyser	220
Vedlegg 12: Klimaeffekter av kortlevde klimadrivere fra ulike regioner i Norge	228
Vedlegg 13: Andre tiltak	230

Sammendrag

De senere årene har klima-, helse- og miljøgevinstene forbundet med å redusere utslipp av kortlevde klimadrivere fått økende internasjonal og nasjonal oppmerksomhet.

Miljødirektoratet har på oppdrag fra Miljøverndepartementet gjort en helhetlig vurdering av klima-, helse- og miljøeffekter av norske utslipp av kortlevde klimadrivere, foreslått tiltak og virkemidler for å redusere slike effekter innen 2030 og vurdert behovet for ytterligere overvåkning av disse komponentene (Miljødirektoratet, 2013a).

Kortlevde klimadrivere er i dette forslaget til handlingsplan definert som gasser og partikler som bidrar til oppvarming og som har en levetid fra noen dager og opp til 15 år. Dette omfatter dermed svart karbon (BC), troposfærisk ozon (O₃), metan (CH₄) og noen hydrofluorkarboner (HFK-er) (vedlegg 1). Metan og HFK-er er regulert under Kyotoprotokollen.

Organisk karbon (OC) og svoveldioksid (SO₂), som bidrar til avkjøling, kan ha samme utslippskilder som de kortlevde klimadriverne og er derfor også inkludert her. Karakteristisk for klimaeffekten av de kortlevde klimadriverne, med unntak av HFK-ene og til en viss grad CH₄, er at det har betydning hvor i verden utslippet skjer (kapittel 2.1).

Klimaeffekt er i dette arbeidet definert som global oppvarming eller avkjøling av atmosfæren. Helseeffekt er definert som påvirkning på befolkningens helse forårsaket av gitte konsentrasjoner av én eller flere forurensningskomponenter. Miljøeffekt er definert som påvirkning på avling og skog forårsaket av gitte konsentrasjoner av én eller flere forurensningskomponenter.

Kortlevde klimadrivere er et relativt nytt felt i forvaltningssammenheng. Det naturvitenskapelige kunnskapsgrunnlaget er umodent og har utviklet seg parallelt med arbeidet med handlingsplanen. En stor del av arbeidet har derfor bestått i å følge med på forskningsfronten, utarbeide metodikk, utslippsregnskap, framskrivninger og vurderinger av usikkerheter for å være i stand til å gjennomføre en tiltaksanalyse. Så vidt vi kjenner til, er det ikke gjort en tilsvarende analyse i andre land.

BOKS 1: Global klima-, helse- og miljøeffekt av kortlevde klimadrivere

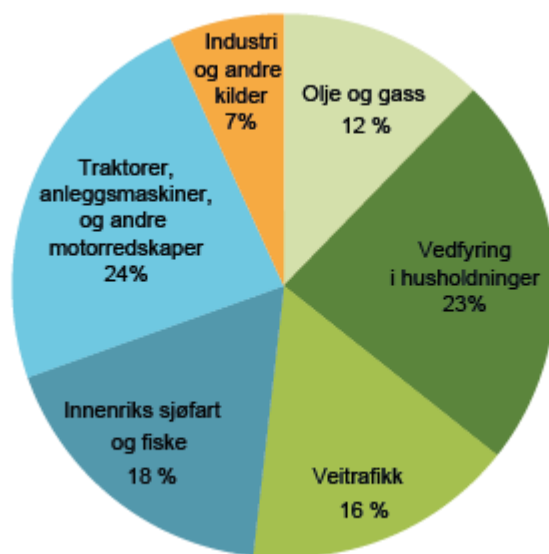
En rapport fra FNs Miljøprogram viser at et sett utslippsreducerende tiltak rettet mot de kortlevde klimadriverne kan redusere den globale oppvarmingen med 0,5 °C innen 2050 i forhold til en referansebane utarbeidet av IIASA med utgangspunkt i informasjon fra World Energy Outlook 2009 fra IEA (UNEP/WMO, 2011). Ifølge studiet, vil den reduserte oppvarmingshastigheten forårsaket av kutt i utslipp av kortlevde klimadrivere være kortvarig. For å hindre oppvarming på lengre sikt, må utslipp av langlevde klimagasser som CO₂ reduseres. Ved å implementere tiltak både for kortlevde klimadrivere og langlevde klimagasser, vil vi kunne få en raskere klimagevinst, og dermed øke sjansen for å overholde togradersmålet som verdens ledere har satt for å forhindre farlige klimaendringer.

Studiet viser også at på globalt nivå kan reduksjon av kortlevde klimadrivere redusere 2,4 (0,7-4,6) millioner premature dødsfall årlig fra 2030 og framover pga. BC og 0,04-0,52 millioner pga. ozon, og avlingstap av hvete, ris, mais og soya med 52 (30-140) millioner tonn årlig, eller ca. 1-4 % av verdensproduksjonen av disse matvarene etter 2030 når et sett av 14 tiltak er implementert (UNEP/WMO, 2011).

Første norske utslippsregnskap for svart karbon og organisk karbon

I forbindelse med dette arbeidet har vi etablert det første norske utslippsregnskapet for svart karbon og det første utslippsregnskapet for organisk karbon. Svart karbon (BC) er i forslaget til handlingsplan definert som den lysabsorberende andelen av fine partikler ($PM_{2,5}$) og dannes hovedsakelig ved ufullstendig forbrenning av fossile brensler, biobrensler og biomasse. Organisk karbon (OC) er den reflekterende andelen av fine partikler ($PM_{2,5}$). Sammen med svart karbon utgjør organisk karbon den dominerende delen av karbonholdige partikler (vedlegg 1).

Figur S.1 viser utslippskildene til svart karbon i Norge. Dieseldrevne motorredskaper og vedfyring er de dominerende kildene. Utvikling over tid er vist i kapittel 1.1.2. Organisk karbon er omtalt i kapittel 1.5. Den dominerende kilden til OC-utslipp er vedfyring i husholdningen. Denne kilden utgjør 83 % av de nasjonale OC-utslippene. Usikkerhetsestimatene for BC og OC er ikke kvantifisert, men antas å ligge betydelig over de andre komponentene som inngår i forslaget til handlingsplan.



Figur S.1: Kildefordeling av norske 2011-utslipp av svart karbon. Kilde: Klif/SSB (2013), SSB (2013)

Beregning av klimaeffekt i handlingsplanen

Klimaeffekt er her definert som global oppvarming eller avkjøling av atmosfæren. For alle tiltak som er utredet i forbindelse med dette forslaget til handlingsplan, er det beregnet samlet klimaeffekt, det vil si summen av oppvarmende og avkjølende effekter. Dette er ikke tidligere blitt gjort i norske klimaanalyser.

Klimaeffekten for de ulike komponentene kan sammenlignes og summeres etter omregning til såkalte CO_2 -ekvivalenter (vedlegg 1). Dette kan gjøres ved å multiplisere utslipp i tonn med en faktor som angir klimaeffekten av den aktuelle komponenten relativt til klimaeffekten av ett tonn utslipp av CO_2 ved noen gitte forutsetninger. De tre sentrale forutsetningene er 1) metodikk for å beregne klimaeffekten, typisk globalt oppvarmingspotensial (GWP) eller globalt temperaturendringspotensial (GTP), 2) tidsperioden klimaeffekten beregnes over og 3) regionen hvor utslippet finner sted. Denne faktoren kalles en vektfaktor (metric). Globalt oppvarmingspotensial er summen av klimapådrivet over hele tidsperioden mens globalt temperaturendringspotensial er temperaturresponsen det siste året i perioden. GWP reflekterer dermed alle påvirkninger et utslipp har hatt på klima i løpet av tidsperioden mens GTP gir et

øyeblikksbilde av temperaturresponsen i det siste året. Vektfaktorene er basert på modellstudier. Beregning av klimaeffekt ved hjelp av vektfaktorer representerer en forenkling i forhold til å bruke modeller som eksplisitt inkluderer utslipp samt kjemiske og fysiske prosesser hver gang det skal foretas analyser og vurderinger av klimaeffekter.

Det er ikke internasjonal enighet om hvilken vektfaktor som er best egnet for analyse av kortlevde klimadrivere, men IPCC (2013) og flere andre peker på at valg av faktor avhenger av analysens formål. I første forpliktelsesperiode av Kyotoprotokollen under UNFCCC benyttet man GWP beregnet over en hundreårsperiode uavhengig av hvor utslippet fant sted ("GWP100, global"). Kyotogassene er metan, HFK-er og flere langlevde gasser, bl.a. CO₂.

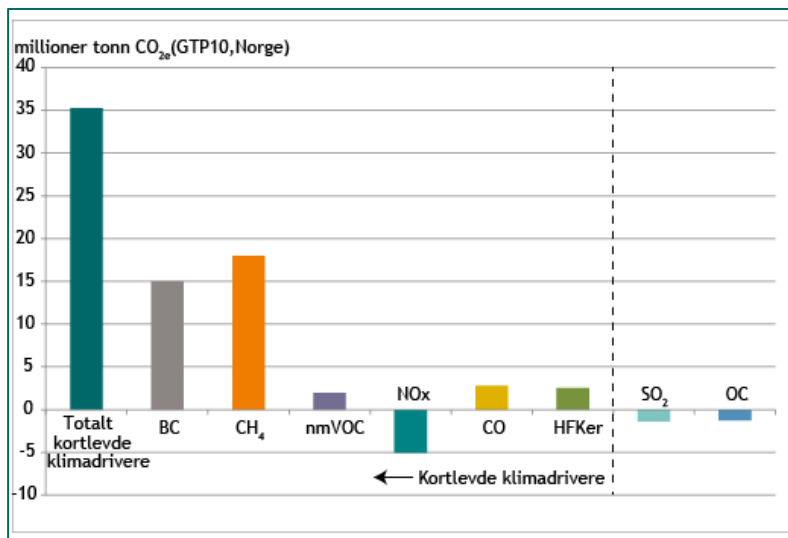
Vårt formål er å analysere klimaeffekten av kortlevde klimadrivere på kort sikt. Vi har vurdert det slik at "GTP10, Norge", dvs. globalt temperaturendringspotensial beregnet ti år etter at utslippet fant sted i Norge, er den mest hensiktsmessige vektfaktoren for å analysere tiltak for norske utslipp av kortlevde klimadrivere på kort sikt. Denne vektfaktoren gir et øyeblikksbilde av temperaturresponsen 10 år etter utslippet og reflekterer både den korte levetiden for kortlevde klimadrivere og det faktum at utslippene finner sted i Norge (kapittel 2.2).

En fare ved å benytte vektfaktorer for å sammenligne ulike klimadrivere er at det skapes et inntrykk av at det er det samme hvilken komponent som reduseres dersom den estimerte klimaeffekten i CO₂-ekvivalenter er den samme. Dette blir spesielt viktig å ha i mente når klimaeffekten av svart karbon, som bare oppholder seg noen dager i atmosfæren, tilsynelatende sidestilles med CO₂ og andre langlevde klimagasser ved hjelp av en vektfaktor som fokuserer på egenskapene til kortlevde klimadrivere. Ved bruk av "GTP10, Norge", vil utslippene bare være "ekvivalente" i forhold til endring i temperatur ti år etter at utslippet fant sted i Norge. CO₂ og andre langlevde gasser har imidlertid mye lenger levetid i atmosfæren enn 10 år. De langsiktige virkningene de langlevde gassene har på klimasystemet, reflekteres dermed ikke av "GTP10, Norge". Dette gjelder for eksempel vedvarende oppvarming av atmosfæren med tilbakekoblinger grunnet bl.a. påvirkning på karbonsyklusen og temperaturen i dyphavene.

Det eksisterer ikke én enkelt vektfaktor som beskriver klimaeffekten av både kortlevde og langlevde komponenter på en egnet måte.

Vesentlig klimaeffekt av norske utslipp av svart karbon og metan på kort sikt

Den totale klimaeffekten av norske utslipp av kortlevde klimadrivere var 35 millioner tonn CO_{2e(GTP10, Norge)} i 2011 og fordelte seg som vist i figur S.2. Figuren inkluderer også klimaeffekten av OC og SO₂ som slippes ut samtidig med kortlevde klimadrivere fra noen kilder.

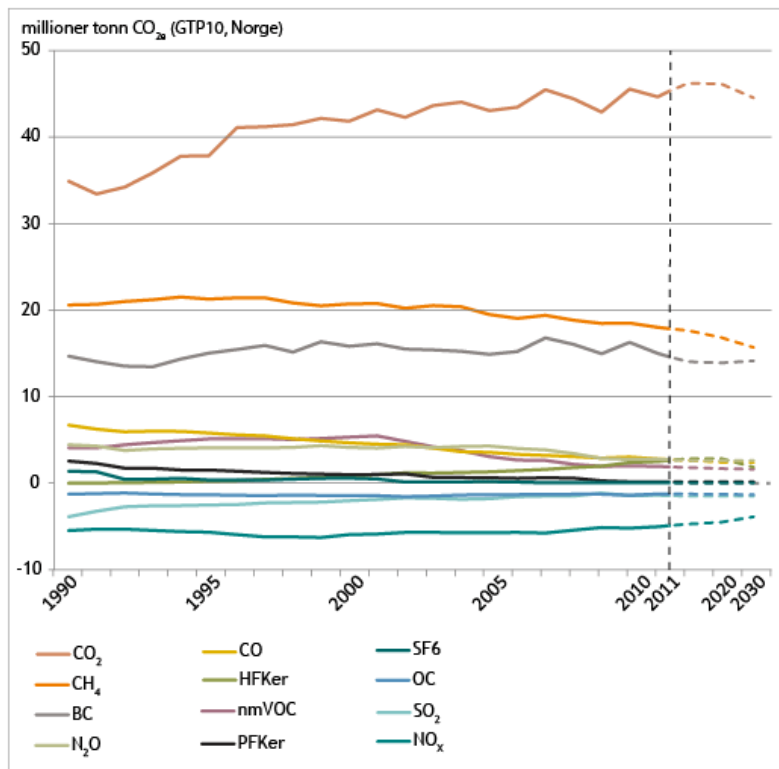


Figur S.2: Klimaeffekt i 2011 uttrykt i millioner tonn $CO_{2e}(GTP10, Norge)$ for norske utslipp av kortlevde klimadriver, samt SO_2 og OC. Kilde:Klif/SSB (2013), SSB (2013)

Figur S.2 viser at for de kortlevde klimadriverne er den oppvarmende effekten av norske utslipp markant størst for metan og dernest svart karbon. Den oppvarmende effekten av ozonforløperne CO og nmVOC, samt HFK-ene er vesentlig mindre. Ozonforløperen NO_x har i likhet med OC og SO_2 avkjølende effekt. NO_x -utslipp virker avkjølende i et tiårsperspektiv primært fordi NO_x medfører reduksjon av CH_4 i atmosfæren. OC- og SO_2 -utslippene danner partikler som gir avkjøling fordi de sprer sollyset.

Den historiske utviklingen og framskriving av klimaeffekt på kort sikt er vist i figur S.3 for langlevde gasser, kortlevde klimadrivere, OC og SO_2 . Vi ser at det er en nedgang eller liten endring for alle komponenter bortsett fra CO_2 i tidsperioden 1990-2011, og at denne trenden er forventet å fortsette mot 2030.

Reduksjonene antas å reflektere allerede implementerte tiltak og vedtatt politikk (kapittel 1, vedlegg 4). Sammenligner vi Norges utslipp av alle klimadrivere (kortlevde og langlevde), ser vi at på kort sikt er det kun CO_2 som har høyere klimaeffekt enn metan og svart karbon. Dette har vært tilfelle siden 1994. Samlet klimaeffekt gitt i $CO_{2e}(GTP10, Norge)$ for metan og BC var i 2011 om lag 70 % av klimaeffekten av norske CO_2 -utslipp.



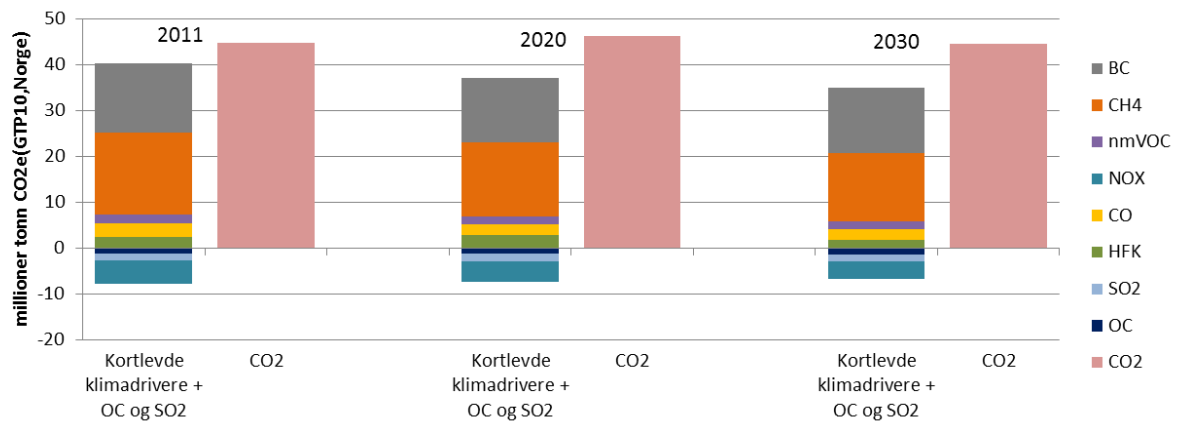
Figur S.3: Nasjonale utslipp av alle komponenter i referansebanen i $CO_{2e}(GTP10, Norge)$
 Kilde: Klif/SSB(2013), SSB(2013), FIN(2013)

Viktig å redusere både kortlevde klimadrivere og CO_2 på kort sikt

Å overholde togradersmålet slik som verdens ledere har satt for å forhindre farlige klimaendringer, krever en langsiktig reduksjon i den globale oppvarmingen. I et 100-årsperspektiv dominerer klimaeffekten av CO_2 og andre langlevde klimagasser (kapittel 2.9). Klimaeffekten av de kortlevde klimadriverne er liten i et 100-årsperspektiv. For å unngå mer enn 2 °C oppvarming, er det derfor viktigst å redusere utslippene av CO_2 og andre langlevde klimagasser.

I et tiårsperspektiv er klimaeffekten av kortlevde klimadrivere vesentlig (figur S.4), men selv i dette kortsiktige tidsperspektivet var klimaeffekten av norske CO_2 -utslipp i 2011 alene større enn summen av klimaeffekten av alle norske utslipp av kortlevde klimadrivere. Dette indikerer at CO_2 -reduksjoner også er viktig på kort sikt. Raske CO_2 -reduksjoner vil kunne bidra med å begrense oppvarmingshastigheten på kort sikt. Det er derfor viktig for Norge å iverksette CO_2 -tiltak raskt.

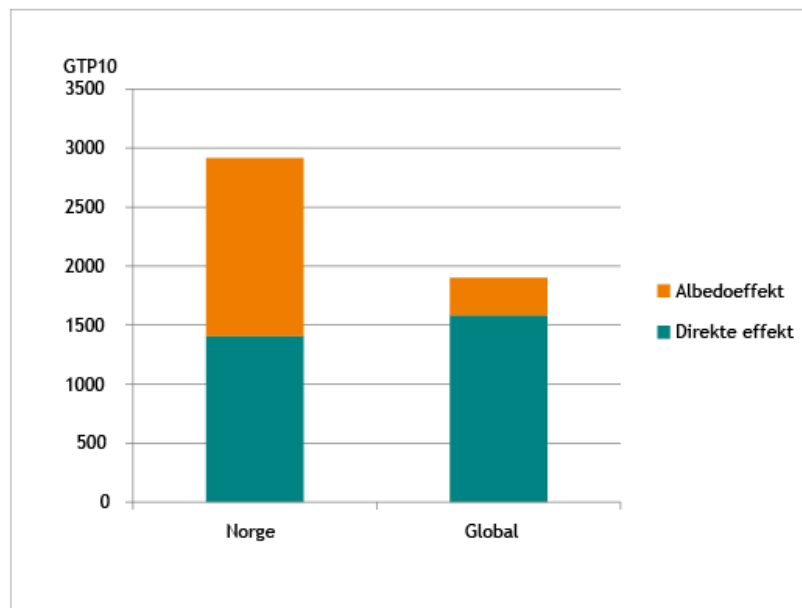
Tiltak på kortlevde klimadrivere kan ikke erstatte CO_2 -tiltak verken på kort eller langt sikt. Men reduserte norske utslipp av kortlevde klimadrivere, og spesielt metan og BC, vil forsterke den globale klimagavinsten av raske reduksjoner i CO_2 -utslipp.



Figur S.4: Global klimaeffekt av kortlevde klimadrivere, OC og SO₂ sammenlignet med CO₂ i 2011, 2020 og 2030

Norske BC-utslipp har betydning for Arktis

Norske BC-utslipp har per tonn om lag 1,5 gang høyere klimaeffekt enn det globale midlet (figur S.5) og kan bidra til avsmelting i Arktisk. Dette skyldes at albedoeffekten av norske utslipp er høy grunnet vår nærhet til Arktis. Tilsvarende vil gjelde for andre land med nærhet til polområdene eller andre snø- og isdekkede områder som eksempelvis Himalaya.



Figur S.5: Klimaeffekten av ett tonn norske BC utslipp sammenlignet med gjennomsnittlig global klimaeffekt per tonn utslipp. Vekt faktoren er inndelt i bidrag fra direkte effekt (atmosfærisk absorpsjon) og albedoeffekt på snø og is. Kilde: Hodnebrog m. fl. (2013)

Reduksjon i norske BC-utslipp vil kunne gi positive helseeffekter i Norge

Norske BC-reduksjoner vil også kunne gi helsefordeler ettersom dagens høye nivåer av fine partikler ($PM_{2,5}$ som BC er en delmengde av) i byer og tettbebygde strøk kan være helseskadelig for befolkningen.

På grunn av svart karbons klimaeffekt i Arktis og negative helseeffekt, bør reduksjoner av disse utslippene vurderes spesielt.

Ingen klimagevinst av kutt i NO_x

I et kortsiktig perspektiv vil utslippsreduksjoner for ozonforløperen NO_x bidra til oppvarming. På lang sikt, eksempelvis 100 år, har NO_x -utslipp minimal klimaeffekt (kapittel 2.5).

NO_x -reduksjoner vil imidlertid gi helse- og miljøgevinst i Norge. I tettbygde strøk kan nivåene av NO_2 være helseskadelig for den norske befolkningen. I tillegg bidrar NO_x til dannelsen av helseskadelig ozon. Miljøeffekten av nasjonalt produsert ozon er begrenset (kapittel 2.11).

Internasjonalt samarbeid (vedlegg 3) er viktig i forhold til å få ned nivåene av NO_x og ozon i Norge ettersom en høy andel av disse komponentene er langtransportert. Norge må også innfri egne forpliktelser, og tiltaksutredning for å redusere NO_x -utslipp av helse- og miljøhensyn er i gang i (Miljødirektoratet, 2013b).

Rammer for tiltaks- og virkemiddelanalysen

Formålet ved denne delen av analysen er å gi en helhetlig vurdering av klima-, helse- og miljøeffekter av norske utslipp av kortlevde klimadrivere og foreslå tiltak og virkemidler for å redusere slike effekter innen 2030. Et definert mål for utslippsreduksjoner er ikke satt.

Analysen er avgrenset til utslipp som inngår i det norske utslippsregnskapet slik det publiseres av Miljødirektoratet og SSB.

En rekke "CO₂-tiltak" vil redusere utslipp av kortlevde klimadrivere. Dette gjelder for eksempel trafikkreduserende tiltak eller overgang til mer miljøvennlige kjøretøy eller fornybar energi. Slike tiltak er i hovedsak ikke dekket av denne analysen og ble sist utredet i Klimakur 2020 (Klif, 2010). Fokus for denne analysen er dermed å identifisere utslippsreduksjoner som er tillegg til de reduksjonene som følger av CO₂-tiltak. Analysen gir dermed ikke en oversikt over det fullstendige reduksjonspotensialet for norske utslipp av kortlevde klimadrivere.

Vi har rettet våre tiltak på utslippskilder hvor reduksjonspotensialet for de kortlevde klimadriverne er stort. De fleste av våre tiltak er rettet på BC og CH₄ som er de kortlevde klimadriverne med størst klimaeffekt på kort sikt (figur S.2). Tiltakenes reduksjonspotensial beskrives i forhold til den utslippsutviklingen vi forventer basert på vedtatt politikk, en såkalt referansebane (kapittel 2.10).

For noen tiltak kan det være konflikt mellom ønske om klimagevinst og positive helse- og miljøeffekter. Som nevnt over, gir for eksempel NO_x -reduksjoner kortsiktig oppvarming, men helse- og miljøgevinst. Vi har hatt som mål å redusere oppvarming på kort sikt uten vesentlige negative helse- og miljøeffekter.

Innenfor denne rammen har intensjonen vært å identifisere alle tiltak med vesentlig reduksjonspotensial, og vi har vurdert reduksjonspotensialet for alle utslippskilder i det norske utslippsregnskapet. I praksis har imidlertid tilgjengelig data- og kunnskapsgrunnlag vært en begrensning i forhold til hvilke tiltak det har vært mulig å utrede. En detaljert beskrivelse av

tiltakene for hver sektor er beskrevet i underlagsrapporten (Miljødirektoratet, 2013c) til hovedrapporten (Miljødirektoratet, 2013a).

Data- og kunnskapsmangel har vært en spesiell utfordring for petroleumssektoren hvor vi kun har kunnet utrede to tiltak. Dette er ikke nødvendigvis de beste tiltakene for denne sektoren, og mer informasjon bør innhentes for å kunne vurdere ytterligere tiltak (kapittel 5.1).

Ettersom vår analyse ikke kan gi en fullstendig oversikt over reduksjonspotensialet for norske utslipp av kortlevde klimadrivere, er arbeidet heller ment å illustrere et mulig handlingsrom for tiltak på kortlevde klimadrivere. Ytterligere utredning kan være nødvendig for å identifisere de beste tiltakene, samt dimensjonere de utredete tiltakene på hensiktsmessig vis.

Resultater av tiltaksanalysen

For alle tiltak er det beregnet samlet klimaeffekt, dvs. summen av oppvarmende og avkjølende effekter (kapittel 3.2.1). Utslipp av NO_x, OC og SO₂ bidrar til en avkjøling av atmosfæren og fører til oppvarming når de blir redusert. Dette er spesielt viktig for utslipp som inneholder en høy andel avkjølende komponenter, eksempelvis organisk karbon fra vedfyring. OC-andelen i ett tonn partikler fra veitrafikk er eksempelvis mye lavere enn for vedfyring slik at den samlede klimagevinsten av å redusere ett tonn BC-utslipp fra veitrafikk er større enn for ett tonn BC-utslipp fra forbrenning av ved og annen biomasse (kapittel 1.1, 1.5 og 2.8). Implikasjonen er at tiltak rettet mot utslippskilder som også slipper ut store mengder avkjølende komponenter ikke nødvendigvis er gode klimatiltak under alle omstendigheter (kapittel 6.2.3).

Vi har utredet samlet klimaeffekt, samt helse- og miljøeffekt for 18 ikke-overlappende tiltak, det vil si tiltak som reelt komplementerer hverandre fordi de reduserer ulike utslipp. Det er identifisert tiltak i seks sektorer (petroleum, industri, oppvarming i husholdningene, transport, jordbruk og HFK i produkter) som til sammen stod for totalt 83 % av alle norske utslipp av kortlevde klimadrivere i 2011.

Transport- og jordbrukssektorene har de største utslippene av kortlevde klimadrivere målt i CO_{2e}-(GTP10, Norge). I transportsektoren dominerer BC-utslipp fra dieseldrevne motorer. Utslipp av kortlevde klimadrivere fra jordbrukssektoren består utelukkende av metan, hvorav hovedparten av metanutslippene kommer fra husdyrenes fordøyelse (87 % i 2011) og resten fra lagring av husdyrgjødsel.

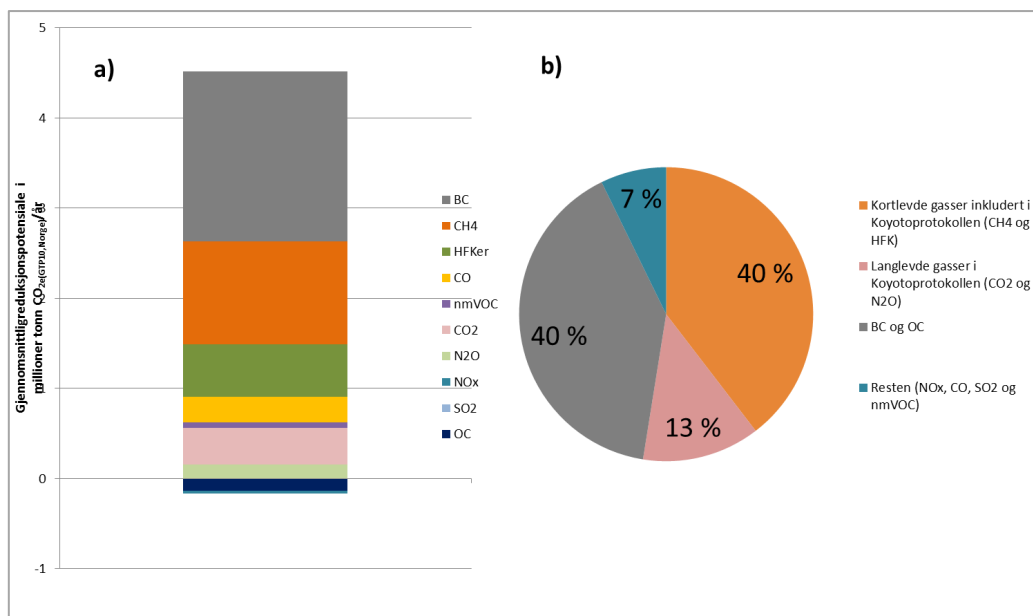
Det er vesentlige utslipp fra oppvarming i husholdninger, og disse stammer primært fra BC fra vedfyring. Petroleumssektoren har vesentlige utslipp av BC fra bl.a. fakling og dieselbruk og metan fra bl.a. kaldventilering og lekkasjer i prosesser.

Sektoren HFK i produkter omfatter kun HFK-utslipp fra produkter, som for eksempel kuldemedium og varmepumper. Norge har et omfattende regelverk for å begrense HFK-utslippene, og utslippene er i dag relativt begrenset. Enda strengere krav er imidlertid til vurdering i EU. I industrisektoren har utslippene av BC og CO blitt mer enn halvert siden 1990 som følge av lavere produksjon og forbedret teknologi, og utslippene av kortlevde klimadrivere er i dag nokså begrenset i industrien (kapittel 1 og 4.1).

Klimaeffekten av de 18 tiltakene er vist på komponentnivå i figur S.6a. Fra figuren ser vi at det beregnede reduksjonspotensialet som teoretisk kan utløses gjennom tiltakene som er utredet, er 4,3 millioner tonn CO_{2e}(GTP10,Norge) i gjennomsnitt per år, dvs. ca. 12 % av samlede utslipp av kortlevde klimadrivere i 2011 (figur S.2). Reduksjonspotensialet i Figur S.6 inkluderer både de oppvarmende komponentene (positiv klimaeffekt) og avkjølende komponenter (negativ klimaeffekt) som reduseres.

De største utslippsreduksjonene stammer fra BC-reduksjoner etterfulgt av metan- og HFK-reduksjoner som begge er regulert under Kyotoprotokollen (figur S.6a). Samlet effekt av BC-/OC-reduksjonene tilsvarer 40 % av de atten tiltakenes reduksjonspotensial (figur S.6b). Tilsvarende er samlet effekt av reduksjonene av Kyotogassene metan og HFK-er også 40 %.

De siste 20 % utgjøres av de langlevde klimagassene CO₂ og N₂O (13 %) og resterende kortlevde klimadrivere og SO₂ (7 %). NO_x- og SO₂-reduksjonene er for små til å synes i figur S.6a.



Figur S.6a: Gjennomsnittlig utslippsreduksjoner i millioner tonn CO_{2e}(GTP10,Norge) per år for hver komponent for de 18 ikke-overlappende tiltakene. Merk at utslippsreduksjonene av NO_x og SO₂ er for små til at de synes i figuren. Figur S.6b: Prosentvis fordeling av utslippsreduksjonene for de 18 tiltakene.

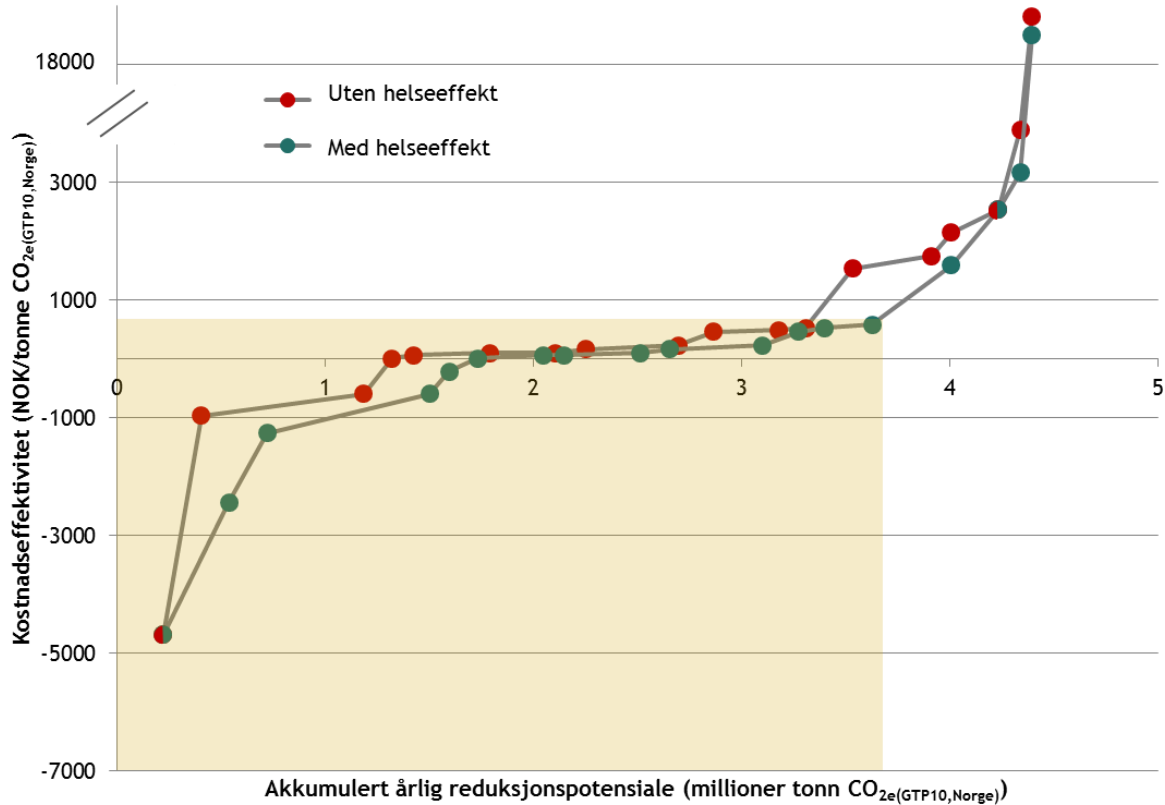
Ved vurdering av disse 18 tiltakene har vi lagt vekt på kostnad per redusert tonn CO_{2e}(GTP10, Norge), såkalt kostnadseffektivitet. Kostnadseffektiviteten for tiltakene er beregnet i tråd med Finansdepartementets veileder for samfunnsøkonomiske analyser¹. Tiltakskostnaden inkluderer verdsette helseeffekter der dette er relevant, dvs. helsegevinster målt i kroner har blitt trukket fra tiltakskostnaden. Åtte av 18 tiltak har helseeffekter. Samlet utgjør helsegevinsten av disse åtte tiltakene i gjennomsnitt 1,6 milliarder kroner årlig.

Vi har ikke hatt grunnlag for å kunne verdsette effekter på skog og avling (miljøeffekter) på samme måte som for helseeffektene, men dette antas å ha liten betydning for analysens konklusjoner

I figur S.7 er tiltakene rangert etter økende kostnad per redusert tonn CO_{2e}(GTP10, Norge), dvs. etter avtagende kostnadseffektivitet. Årlig reduksjonspotensial for tiltakene summeres langs førsteaksen

¹ Beregning av kostnadseffektivitet er forklart i vedlegg 7. I tråd med Finansdepartementets veileder, er ikke klimanytten av tiltakene verdsett.

(x-aksen). Figuren viser dermed hvilket reduksjonspotensial som kan oppnås til en gitt kostnadseffektivitet (y-aksen). Kostnadseffektiviteten er også vist uten helsefordel (røde punkter) for å synliggjøre betydningen helse har for kostnadseffektiviteten. Rangering av tiltakene endres for de fleste tiltakene når helseeffekten ikke lenger er inkludert.



Figur S.7: Kostnadseffektivitet og akkumulert årlig reduksjonspotensial for de 18 ikke-overlappende tiltakene. De grønne punktene viser kostnadseffektiviteten for tiltakene når helseeffekter er hensyntatt i beregningen. De røde punktene viser kostnadseffektiviteten når helseeffektene ikke er hensyntatt.

Figur S.7 indikerer at kostnadseffektivitet blir markant dårligere ved om lag kr 600 per redusert tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ for kurven som inkluderer helsefordelen (grønne punkter). Fire av tiltakene er beregnet å ha vesentlig dårligere kostnadseffektivitet enn kr 600/tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ og ligger utenfor det gule feltet.

I tillegg viser figur S.7 at de åtte tiltakene med helseeffekt blir dyrere dersom helseeffekten ikke inkluderes i kostnadene (dvs. linjen med røde punkter ligger over linjen med grønne punkter) (kapittel 6.1.2).

Fem tiltak er beregnet å koste under 0 kr per redusert tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. For to av tiltakene (vedfyring) skyldes dette den store helsegevinsten. For de andre tre tiltakene skyldes dette primært kostnadsmessige besparelser.

Helhetlig vurdering av tiltakene

I tillegg til å vurdere kostnadseffektiviteten inkl. helseeffekter, har vi gjort en skjønnsmessig vurdering av hvor realistisk det antas å være at estimerte utslippsreduksjoner kan oppnås gjennom det mest aktuelle virkemiddelet eller kombinasjon av virkemidler. Dette kalles styringseffektivitet. Styringseffektiviteten er også kvalitativt vurdert som høy, middels eller lav. Generelt vurderes regulering som et styringseffektivt virkemiddel, mens informasjonsvirkemiddel typisk vurderes som mindre styringseffektive. Ofte er det nødvendig med en kombinasjon av virkemidler for å utløse et tiltak. Eksempelvis kan man øke styringseffektiviteten for ulike støtteordninger gjennom informasjonstiltak.

I tabell S.1 oppsummerer vi kostnadseffektivitet og styringseffektivitet for alle tiltak. Kostnads-effektiviteten inkluderer både klimaeffekt og helseeffekt, men hvorvidt det er klimaeffekten eller helseeffekten som har størst betydning for beregningen av kostnadseffektiviteten, varierer i stor grad. Det er stor forskjell på klimaeffekten for tiltakene, og kun åtte av de 18 tiltakene har helseeffekt. I tabellen har vi derfor også synliggjort klima- og helseeffekten.

Kostnadseffektiviteten, klima- og helseeffekt av tiltakene er vurdert som høy, middels eller lav basert på innbyrdes vurdering². Det er ikke tatt stilling til hvorvidt verdiene for kostnads-effektivitet, klimaeffekt og helseeffekt er lav, middels eller høye i forhold til andre analyser (kapittel 6.2.5).

For alle tiltak gjelder at vurderingene er basert på tiltakene slik de her er dimensjonert. Det er mulig å skalere tiltakene annerledes. Tiltakene har til felles at de er beheftet med usikkerheter som er omtalt etter vurderingene.

Karakteristika ved de ulike tiltakene er oppsummert i tabell S.1 under.

² Kostnadseffektivitet (kr/tonn CO_{2e}(GTP10, Norge): H=<0, M=0-600, L=> 600. Klimaeffekten (årlige reduksjoner i kilotonn CO_{2e}(GTP, Norge): H>400, M=200-400 og L<200. Helseeffekten (årlig helsegevinst i millioner kroner): H>100, M=50-100, L<50

Tabell S.1 Vurderingsmatrise³

Tiltak	Primær-komponent som reduseres i CO _{2e} (GTP10,Norge)	Klima-effekt i kilotonn CO _{2e} (GTP10,Norge)/år	Helse-effekt i millioner NOK/år	Kostnads-effektivitet (kr/tonn)	Virkemiddel Styringseffektivitet (farge)
1. Redusert spill av mat	Metan	221	-	-4686	Informasjon
2. Forsert utskifting til nye ovner og pelletsaminer	BC, OC	318	808	-2433	Støtte og informasjon
3. Energieffektivisering i deler av industrien	BC	183	54	-1255	Kombinasjon av støtte (ENOVA) og informasjon
4. Overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt	Metan	781	-	-593	Informasjon (forbrukssiden) Støtte (produksjonssiden)
5. Bedre fyringsteknikk, ettersyn og vedlikehold	BC, OC	94	222	-208	Informasjon og tilsyn
6. Redusere fyllingsbehovet og benytte HFK med lav klimaeffekt	HFK-er	137	-	14	Krav
7. Ettermontering partikkelfilter (DPF) anleggsmaskiner*	BC	314	133	67	Krav. Lavutslippssoner
8. Økt gjenvinning av nmVOC og metan ved råoljelasting offshore	nmVOC, metan	101	-	71	Krav, evt. oppstartsstøtte
9. Ettermontering og innfasing DPF kystskip	BC	367	-	104	Krav kombinert med støtte
10. Ettermontering og innfasing DPF fiskebåter	BC	143	-	171	Krav kombinert med støtte
11. Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er	HFK-er	445	-	236	Oppfølging/ tilsyn av regelverk
12. Innfasing og ettermontering DPF mobile rigger	BC	171	-	465	Krav og støtte
13. Ombygging til Freilandprosess i silisiumkarbid-industrien	CO	128	-	533	Krav kombinert med støtte
14. Ettermontering DPF lette kjøretøy*	BC	226	216	589	Krav kombinert med støtte. Lavutslippssoner.
15. Innfasing av biogass til buss fra husdyrgjødsel	BC, metan	380	61	1591	Støtte
16. Ettermontering DPF traktorer	BC	224	-	2538	Krav kombinert med støtte
17. Innfasing av biogass til buss fra våtorganisk avfall	BC, metan	110	81	3169	Støtte
18. Ettermontering DPF tunge kjøretøy*	BC	54	17	18514	Krav kombinert med støtte. Lavutslippssoner.

³ *Tiltak som kan gi en NO₂-økning som reduserer de positive helseeffektene av BC-reduksjon (Kapittel 5.4.2 og 6.2.3). DPF: dieselpartikkelfilter. Lysebrun farge: Lav, Mellombrun farge: Middels, Mørkebrun farge: Høy. Kostnadseffektivitet (kr/tonn CO_{2e}(GTP10, Norge)): Høy: <0, Middels: 0-600, Lav: > 600. Klimaeffekten (årlige reduksjoner i kilotonn CO_{2e}(GTP, Norge)): Høy: >400, Middels: 200-400 og Lav: <200. Helseeffekten (årlig helsegevinst i millioner kroner): Høy: >100, Middels: 50-100, Lav: <50. I kolonnen for virkemiddel beskriver fargen grad av styringseffektivitet.

Mulige strategier for utslippsreduksjoner

Vi har gjort en helhetlig vurdering av våre tiltak med hensyn til klima-, helse- og miljøeffekter. Dette har synliggjort både målkonflikter og vann-vinn i forbindelse med tiltaksutredninger. I tillegg blir kostnadene for tiltakene bedre reflektert fordi helseeffektene inkluderes. Beslutningsgrunnlaget blir derfor mer komplett.

Hvilke tiltak som bør velges avhenger likevel av en rekke forutsetninger, ikke minst dimensjoneringen av tiltakene og hvilke utvelgelseskriterier man vektlegger. Vi belyser her seks ulike grupper av tiltak basert på ulike strategier for utslippsreduksjoner. De fem første strategiene består i at tiltak velges basert på ett eller flere av følgende fire kriterier: kostnadseffektivitet, styringseffektivitet, klimaeffekt og helseeffekt. Den sjette gruppen består av tiltakene som bidrar til å oppfylle våre forpliktelser under Kyotoprotokollen.

Den første reduksjonsstrategien benytter kun kostnadseffektivitet som utvelgelseskriterium og gir det største antallet tiltak, nemlig de reduksjonsstrategi 14 tiltakene som koster mindre enn kr 600/tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ når helseeffekten er inkludert. Den neste reduksjonsstrategien resulterer i 12 tiltak som er kostnadseffektive og har middels eller høy styringseffektivitet, dvs. to kostnadseffektive, men lite styringseffektive tiltak faller bort.

Den tredje reduksjonsstrategien gir fem (av de 12) kostnads- og styringseffektive tiltak som har middels eller høy klimaeffekt. Tilsvarende gir den fjerde reduksjonsstrategien fem (av de 12) kostnads- og styringseffektive tiltak som har middels eller høy helseeffekt.

Den femte reduksjonsstrategien gir tre tiltak som er kostnads- og styringseffektive og har både middels eller høy klimaeffekt og middels eller høy helseeffekt.

Til slutt omtaler vi de tiltakene som bidrar til å oppfylle våre forpliktelser under Kyotoprotokollen. Dette er fem tiltak som primært reduserer HFK-er og metan.

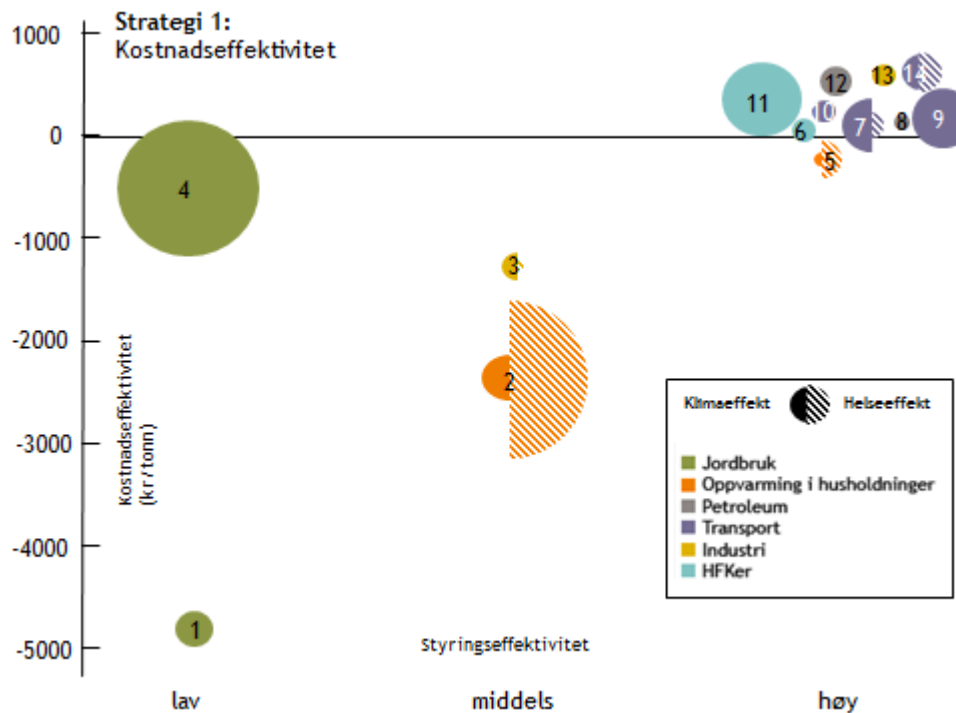
Reduksjonsstrategi 1: Kostnadseffektivitet som eneste utvelgelseskriterium (14 tiltak)

Dersom vi velger bort alle tiltakene med dårlig kostnadseffektivitet (dvs. over kr 600/tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ i grønn kurve vist utenfor det skraverte feltet i figur S.7), medfører dette at fire av de 18 utredede tiltakene er vurdert som for dyre å gjennomføre i denne sammenhengen. Det gjelder biogasstiltakene og tiltak for ettermontering av dieselpartikkelfilter på tunge kjøretøy og traktorer. Vi gjør oppmerksom på at disse tiltakene kan være relevante å gjennomføre selv om disse ikke fyller kriteriene som er lagt til grunn for denne analysen.

Figur S.8 er en grafisk fremstilling av de 14 kostnadseffektive tiltakene. Tiltakene er nummerert i samme rekkefølge som i tabell S.1. Plasseringen av sirkelen indikerer størrelsen på kostnadseffektivitet og styringseffektivitet for hvert av tiltakene. I tillegg indikerer størrelsen på sirklene lav, middels eller høy klima- og helseeffekt. Fylte sirkler viser klimaeffekt av tiltakene og skraverte sirkler viser helseeffekt av tiltakene.

Dersom kostnadseffektivitet er eneste utvalgs-kriterium, vil de 14 gjenværende tiltakene være aktuelle å gjennomføre (figur S.8). Tiltak 1-5 har negativ kostnadseffektivitet. Dette gjelder *Redusert spill av mat, Forsert utskifting til nye ovner og pellets-kaminer, Energieffektivisering i deler av industrien, Overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt, Bedre fyringsteknikk, ettersyn og vedlikehold*. De fem tiltakene er her listet etter stigende kostnad per redusert tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, dvs. etter avtagende kostnadseffektivitet (tabell S.1, figur S.6 fem første grønne punkter). Tiltak 6-14 har kostnadseffektivitet som er positiv, men lavere enn 600 kr/tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$.

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial for tiltakene vil være om lag 3,7 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 12 %. Årlig helsegevinst vil være om lag 1,4 milliarder NOK.



Figur S.8: Grafisk fremstilling av tiltakene som følger av reduksjonsstrategi 1. Tiltakene er nummerert etter stigende kostnad per redusert tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$ (dvs. fallende kostnadseffektivitet) på samme måte som i tabell S.1

Reduksjonsstrategi 2: Styringseffektivitet som tilleggskriterium til kostnadseffektiviteten (12 tiltak)

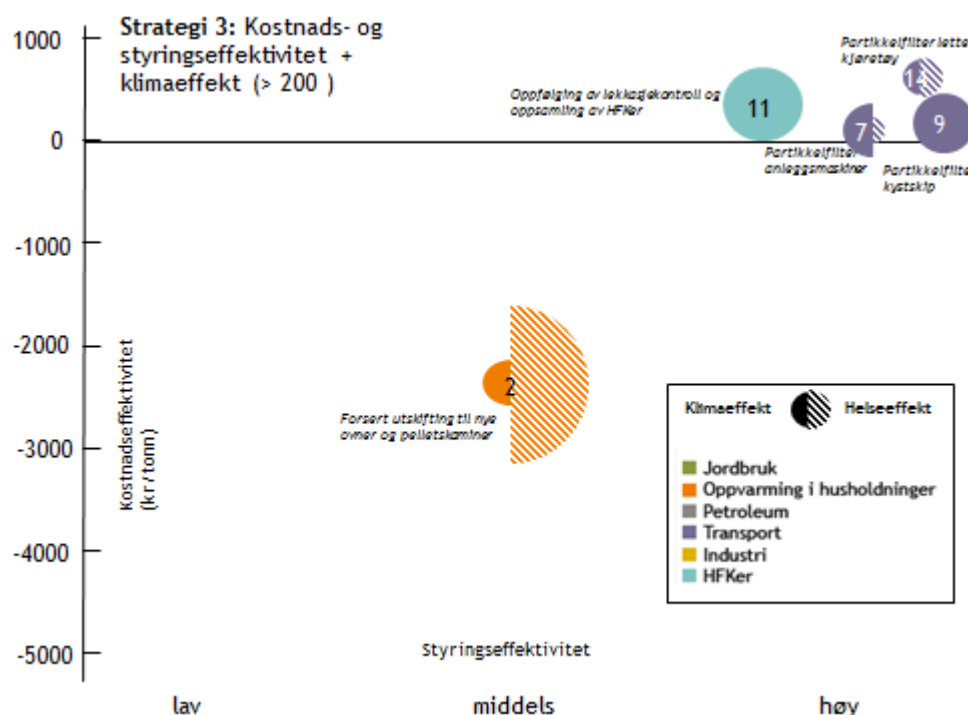
Dersom det settes som krav at tiltakene ikke bare skal være kostnadseffektive, men også ha middels til høy styringseffektivitet, vil de to jordbrukstiltakene falle bort (*Overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt* og *Redusert spill av mat*, tiltak 4 og 1 i figur S.8). Utelatelse av disse to tiltakene vil medføre at muligheten for å redusere metanutslipp blir svært redusert.

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial for disse 12 tiltakene vil være om lag 2,6 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 8 %. Årlig helsegevinst er fortsatt 1,4 milliarder NOK ettersom jordbrukstiltakene ikke har noen verdsatt helseeffekt i denne analysen.

Det kan likevel være verdt å tilstrebe å gjennomføre jordbrukstiltakene, spesielt *Redusert spill av mat*, ettersom de er svært samfunnsøkonomisk lønnsomme, bidrar til måloppnåelse under Kyoto og kan komplementere Avfallsstrategien (MD, 2013) på klimafeltet. Styringseffektiviteten vil kunne bedres betraktelig dersom tiltakene nedskaleres.

Reduksjonsstrategi 3: Kostnads- og styringseffektive tiltak med middels/høy klimaeffekt (5 tiltak)

Dersom man blant de 12 kostnads- og styringseffektive tiltakene i reduksjonsstrategi 2 vil prioritere tiltakene med høy eller middels klimaeffekt, vil dette være *Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er*, *Ettermontering og innfasing av dieselpartikkelfilter (DPF) kystskip*, *Forisert utskifting til nye ovner og pelletskaminer*, *Ettermontering DPF anleggsmaskiner*, *Ettermontering DPF lette kjøretøy*, det vil si tiltak 11, 9, 2, 7 og 14 i figur S.9. Tiltakene er her listet etter avtagende klimaeffekt. Det er noe usikkerhet knyttet til klimaeffekten av partikkelfiltertiltakene ettersom tiltakene kan gi en mindre økning i CO₂-utslipp. Dette bør utredes nærmere (kapittel 5.4.2 og 6.2.3).



Figur S.9: Grafisk fremstilling av tiltakene som følger av reduksjonsstrategi 3. Tiltakene er nummerert etter stigende kostnad per redusert tonn CO_{2e}(GTP10,Norge) (dvs. fallende kostnadseffektivitet) på samme måte som i tabell S.1

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial vil være om lag 1,7 millioner tonn CO_{2e}(GTP10,Norge). Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 5 %. Tre av disse tiltakene har verdsatt helseeffekt og vil ha en årlig helsegevinst på om lag 1,1 milliarder NOK.

Reduksjonsstrategi 4: Kostnads- og styringseffektive tiltak med middels/høy helseeffekt (5 tiltak)

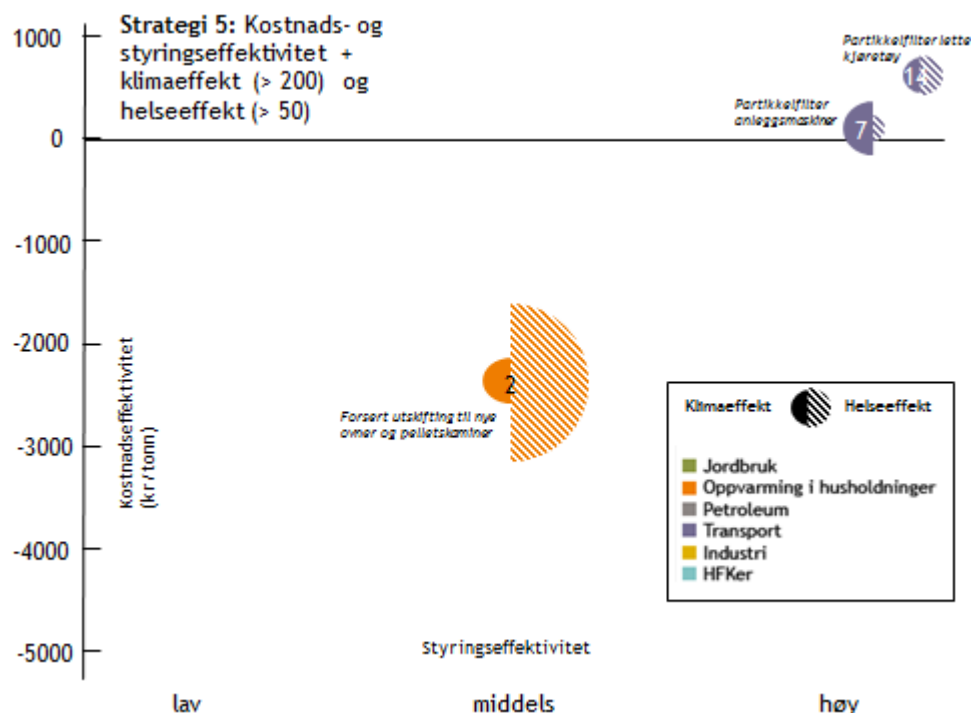
Dersom man blant de 12 kostnads- og styringseffektive tiltakene i reduksjonsstrategi 2 vil prioritere tiltakene med høy eller middels helseeffekt i stedet for klimaeffekt, peker følgende tiltak seg ut: *Forisert utskifting til nye ovner og pelletskaminer*, *Bedre fyringsteknikk*, *ettersyn og vedlikehold*, *Ettermontering av dieselpartikkelfilter (DPF) lette kjøretøy*, *Ettermontering DPF anleggsmaskiner* og *Energieffektivisering i deler av industrien*, det vil si tiltak 2, 5, 14, 7 og 3 i figur S.8. Tiltakene

er her listet etter avtagende helseeffekt. Det er noe usikkerhet knyttet til helseeffekten for de to partikkelfiltertiltakene ettersom tiltakene kan gi en økning i NO₂-utslippene. Dette bør utredes nærmere (kapittel 5.4.2 og 6.2.3).

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial vil være om lag 1,1 millioner tonn CO_{2e}(GTP10,Norge). Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 4 %. Årlig helsegevinst for disse fem tiltakene vil være om lag 1,4 milliarder NOK, dvs. hele helsegevinsten for de 14 kostnadseffektive tiltakene.

Reduksjonsstrategi 5: Kostnads- og styringseffektive tiltak med både middels/høy klimaeffekt og middels/høy helseeffekt (3 tiltak, vinn-vinn)

Dersom man blant de 12 kostnads- og styringseffektive tiltakene i reduksjonsstrategi 2, vil prioritere tiltakene som har både høy eller middels klimaeffekt og høy eller middels helseeffekt, peker følgende tre tiltak seg ut *Forsert utskifting til nye ovner og pelletskaminer, Ettermontering av dieselpartikkelfilter (DPF) anleggsmaskiner, Ettermontering DPF lette kjøretøy*, dvs. tiltak 2, 7 og 14 som vist i figur S.10. Det er noe usikkerhet knyttet til helseeffekten for de to partikkelfiltertiltakene ettersom tiltakene kan gi en økning i NO₂-utslippene. Dette bør utredes nærmere (kapittel 5.4.2 og 6.2.3).



Figur S.10: Grafisk fremstilling av tiltakene som følger av reduksjonsstrategi 5. Tiltakene er nummerert etter stigende kostnad per redusert tonn CO_{2e}(GTP10,Norge) (dvs. fallende kostnadseffektivitet) på samme måte som i tabell S.1

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial vil være om lag 0,9 millioner tonn CO_{2e(GTP10,Norge)}. Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 3 %. Årlig helsegevinst vil være om lag 1,2 milliarder NOK.

Tiltak som bidrar til oppfyllelse av forpliktelser under Kyotoprotokollen

Fem av tiltakene reduserer bare HFK-er eller primært metan som er regulert under Kyotoprotokollen. HFK-tiltakene er *Redusere fyllingsbehovet og benytte HFK-er med lav klimaeffekt* og *Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er*. Tiltakene som primært reduserer metan, er *Redusert spill av mat*, *Overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt* og *Økt gjenvinning av nmVOC og metan ved råoljelasting offshore*. Disse tiltakene vil bidra til måloppnåelse for nasjonale klimamål for klimagasser.

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial vil være om lag 1,7 millioner tonn CO_{2e(GTP10,Norge)}. Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 5 %. Ingen av disse tiltakene har en helseeffekt som er verdsatt i denne analysen.

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial, prosentvis reduksjon i forhold til de kortlevde klimadriverne i referansebanen og gjennomsnittlig årlig helsegevinst for disse seks tiltaksgruppene er oppsummert i tabell S.2 under.

Tabell S.2 Effekter av tiltak basert på ulike reduksjonsstrategier

Reduksjonsstrategi		Reduksjonspotensial i millioner tonn CO _{2e(GTP10,Norge)} /år	Reduksjon i forhold til de kortlevde klimadriverne i referansebanen	Helsegevinst i milliarder NOK/år
1.	Kostnadseffektive tiltak	3,7	12 %	1,4
2.	Kostnads- og styringseffektive tiltak	2,6	8 %	1,4
3.	Kostnads- og styringseffektive tiltak med middels/høy klimaeffekt	1,7	5 %	1,1
4.	Kostnads- og styringseffektive tiltak med middels/høy helseeffekt	1,1	4 %	1,4
5.	Kostnads- og styringseffektive tiltak med både middels/høy klimaeffekt og middels/høy helseeffekt	0,9	3 %	1,2
6.	Regulert under Kyotoprotokollen	1,7	5 %	0

Usikkerheter

I likhet med andre tiltaksanalyser er denne analysen beheftet med usikkerhet. Slike usikkerheter er bl.a. forbundet med tiltakenes kostnader, teknologisk modenhet av flere lite utprøvde teknologier og hvorvidt virkemidler kan innrettes slik at det fulle tekniske reduksjonspotensialet hentes ut. For partikkelfilter er det usikkerhet knyttet til i hvilken grad disse medfører økning i drivstofforbruket og NO₂-utslipp (kapittel 5.4.2, 3.5 og 6.2.4).

I tillegg til dette er denne analysen beheftet med andre typer usikkerheter som følger bl.a. av at det naturvitenskapelige kunnskapsgrunnlaget er umodent og har utviklet seg parallelt med arbeidet med handlingsplanen. Disse er knyttet til bl.a. utslippsregnskap og beregning av utslippsreduksjoner, klima-, helse- og miljøeffekt. Usikkerhetene er generelt størst for BC og til dels også OC og SO₂. For helseeffektene er usikkerheten størst for BC-reduksjonene som i prinsipp er verdsatt som tilhørende PM₁₀-reduksjoner (kapittel 2.12.1). Det må gjennomføres mer forskning og utredning for å redusere disse usikkerhetene (kapittel 3.5 og vedlegg 11).

I tillegg er det usikkerhet knyttet til vekt faktoren (som følge av usikkerhet i modelleringen) og valg av vekt faktor. Følsomhetsanalyse med varierende vekt faktorer indikerer at klimaeffekten av tiltakene generelt reduseres dersom tidshorizonten økes fra 10 til 100 år. Vedfyringstiltakene er primært helsetiltak på lang sikt (liten klimaeffekt) (kapittel 6.2.3). Selv om det er ikke-kvantiserte usikkerheter relatert til klimaeffekten av tiltakene, antar at alle utredede tiltak har klimaeffekt på kort sikt. Tiltakene vil bli dyrere dersom klimaeffekten er overestimert. Usikkerheten i helseeffekten antas å være vesentlig mindre enn for klimaeffekten. For de åtte tiltakene som har helseeffekt, kan vi ikke anslå om helseeffekten er over- eller underestimert.

Behov for videre utredninger og sammenligning med andre studier

I tillegg til de 18 tiltakene omtalt over, har vi identifisert en rekke reduksjonsmuligheter vi ikke har kunnet utrede kvantitativt per i dag pga. manglende data- og/eller kunnskapsgrunnlag. Vi ser behov for å hente inn mer informasjon for å vurdere om det kan finnes gode tiltak blant disse reduksjonsmulighetene. Det bør også ses videre på reduksjoner av kortlevde klimadrivere i tradisjonelle CO₂-tiltak for å vurdere hvordan utslipp av kortlevde klimadrivere kan reduseres mest effektivt. Fordi det er nødvendig å dempe klimaendringene raskt, bør ikke dette stå i veien for å igangsette de mest egnede tiltakene utredet i denne rapporten.

Det er verdt å presisere at det ikke er mulig å gjøre noen direkte sammenlikning mellom kostnadseffektiviteten for tiltak på kortlevde klimadrivere utredet i denne handlingsplanen, verken mot tradisjonelle klimatiltak som i Klimakur 2020 (Klif, 2010) eller McKinsey-kurven (Enkvist m. fl., 2007)), eller med kvotepris. Klimakur 2020 omfatter de langlevde klimagassene CO₂, N₂O, PFK-er, SF₆, samt også CH₄ og HFK-er. Utslippsreduksjonene er i Klimakur 2020 beregnet i form av CO_{2e}(GWP100, global) mens handlingsplanen har lagt CO_{2e}(GTP10, Norge) til grunn for beregninger av klimaeffekt.

Nasjonal overvåking

Det er behov for å styrke den planlagte statlige overvåkingen for svart karbon, organisk karbon og metan. Tilslutning til ICOS-nettverket (Integrated Carbon Observation System) vil være gunstig for å dekke behovet for metanovervåking. Det er videre behov for lokal overvåking av svart karbon (kapittel 3.5.4).

Mulige nasjonale mål for kortlevde klimadrivere

Norge har i dag nasjonale klimamål knyttet til klimagasser regulert i Kyotoprotokollen under Klimakonvensjonen, dvs. CO₂, metan, HFK-er, PFK-er, N₂O og SF₆. Forpliktelsene er knyttet til langsiktig temperaturstabilisering.

Det kan vurderes å etablere et kortsiktig mål rettet på å redusere oppvarmingshastigheten i tillegg til dagens langsiktige mål. Et eventuelt kortsiktig mål bør dekke alle komponenter som har temperaturrespons på kort sikt, dvs. både kortlevde klimadrivere og CO₂ og andre langlevde komponenter.

Ettersom flere av de kortlevde klimadriverne også er luftforurensere, er det viktig at måloppnåelse for klima og luft sees i lys av hverandre. Ved etablering av klima- og luftmål, bør en vurdere å ta den gjensidige påvirkningen disse har på hverandre med i betraktning.

Styrket koordinering av arbeidet med kortlevde klimadrivere

Arbeidet i forvaltningen innebærer mange avgjørelser som påvirker både klimaendringer og luftforurensning. Dette arbeidet utføres i sammenheng med en rekke nasjonale og internasjonale initiativ, og det er en rekke ulike grupper involvert. Det er dermed et behov for styrket koordinering både internt i forvaltningen og i forhold til eksterne miljøer for å sikre en helhetlig politikkutforming (kapittel 3.4).

Internasjonalt samarbeid

Norge deltar allerede i en rekke globale og regionale initiativ som har som mål å redusere utslipp av kortlevde klimadrivere. De regionale initiativene omfatter bl.a. arbeid tilknyttet LRTAP, EU, Arktisk Råd og Nordisk Råd. De globale initiativene omfatter bl.a. det globale partnerskapet for klima og ren luft (CCAC)/UNEP, Montrealprotokollen (HFK-er vurderes inntatt), Klimakonvensjonen (metan og HFK-er), FNs sjøfartsorganisasjon (IMO) og Global Methane Initiative (vedlegg 3).

Norge bør arbeide aktivt for å få etablert en internasjonal definisjon av BC og målemetoder for BC, samt retningslinjer for utslippsrapportering. I tillegg bør Norge fremme harmonisert internasjonal overvåkning av de kortlevde klimadriverne. Norge bør også arbeide for et internasjonalt forpliktende samarbeid for å redusere spesielt BC-utslipp. Metan og HFK-ene er dekket under Kyotoprotokollen, og ozonforløperne er dekket av Gøteborgprotokollen.

På kort sikt bør dette skje gjennom regionale initiativ som LRTAP og eventuelt Arktisk Råd.

På lengre sikt kan dette muligens gjøres gjennom Klimakonvensjonen eller andre globale initiativ. På grunn av de kortlevde klimadriverne regionale preg, må det imidlertid vurderes videre hvorvidt Klimakonvensjonen er en egnet arena.

Summary

In recent years, the climate, health and environmental benefits of reducing emissions of short-lived climate forcers have received increasing international and national attention.

The Norwegian Environment Agency, on behalf of the Ministry of the Environment, has performed an integrated assessment of climate, health and environmental effects of Norwegian emissions of short-lived climate forcers, proposed measures and instruments for reducing such effects by 2030 and evaluated the need for additional monitoring of these components (Norwegian Environment Agency, 2013a).

In this proposed action plan, short-lived climate forcers are defined as gases and particles that contribute to warming and that have a lifetime of a few days to 15 years. These include black carbon (BC), tropospheric ozone (O₃), methane (CH₄) and some hydrofluorocarbons (HFCs). Methane and HFCs are regulated under the Kyoto Protocol.

Organic carbon (OC) and sulphur dioxide (SO₂), which contribute to cooling, are co-emitted with short-lived climate forcers from some emission sources and have therefore also been included here. A characteristic of the climate effects of the short-lived climate forcers, with the exception of the HFCs and to a certain extent CH₄, is that it matters where in the world the emissions are released.

In this analysis, climate effects are defined as global warming or cooling of the atmosphere. Health effects are defined as effects on public health caused by given concentrations of one or more pollutants. Environmental effects are defined as effects on crops and forests caused by given concentrations of one or more pollutants.

The study of short-lived climate forcers is a relatively new field in public administration. The basis of scientific knowledge is still immature and has developed in parallel with work on the action plan. A great deal of the work has therefore consisted of monitoring the research front and developing methods, emission inventories, projections and assessment of uncertainties, so as to analyse the measures. As far as we are aware, no corresponding analyses have been performed in other countries.

BOX 1 Global climate, health and environmental effects of short-lived climate forcers

A report from the UN Environmental Programme shows that a set of emission-reducing measures aimed at short-lived climate forcers could reduce global warming by 0.5 °C by 2050 in relation to a reference scenario prepared by IIASA, on the basis of information from the World Energy Outlook 2009 from the IEA (UNEP/WMO, 2011). According to this study, the reduced rate of warming caused by a cut in short-lived climate forcer emissions would itself be short-lived. In order to prevent warming in the longer term, emissions of long-lived greenhouse gases such as CO₂ must be reduced. By implementing measures aimed at both short-lived climate forcers and long-lived greenhouse gases, a more rapid climate benefit could be obtained, thereby increasing the chances of achieving the 2 °C target that the world's leaders have set for preventing dangerous climate change.

The study also shows that at a global level, reduction of short-lived climate forcers could prevent 2.4 (0.7-4.6) million premature deaths a year from 2030 onward from BC and 0.04-0.52 million from ozone, as well as reducing losses of wheat, rice, maize and soya crops by 52 (30-140) million tonnes a year, or approximately 1-4% of the global production of these foods after 2030, when a set of 14 measures is implemented (UNEP/WMO, 2011).

First Norwegian emission inventories for black carbon and organic carbon

In connection with this work, we have established both the first Norwegian emission inventory for black carbon as well as for organic carbon. In the proposed action plan, black carbon (BC) is defined as the light-absorbing part of fine particles ($PM_{2.5}$) and is mainly created by the incomplete combustion of fossil fuels, biofuels and biomass. Organic carbon (OC) is the reflective proportion of fine particles ($PM_{2.5}$). Together with black carbon, organic carbon represents the dominant proportion of carbonaceous particles.

Figure S.1 shows the emission sources of black carbon in Norway. The dominant sources are diesel engines and wood burning for residential heating. The dominant source of OC emissions is residential wood-burning stoves. This source represents 83% of the national OC emissions. The uncertainty estimates for BC and OC emissions have not been quantified, but are assumed to be considerably higher than for the other components included in the proposed action plan.

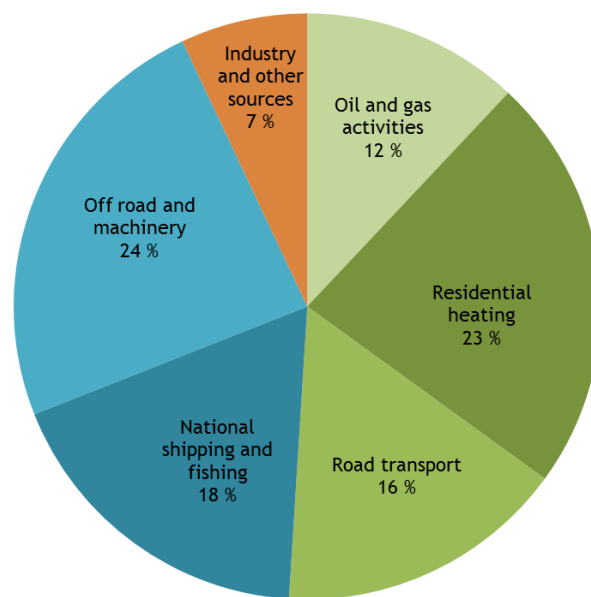


Figure S.1: Distribution of sources for Norwegian 2011 emissions of black carbon. Source: Klif/SSB (2013), SSB (2013)

Calculation of climate effects in the action plan

Climate effects are defined here as global warming or cooling of the atmosphere. The combined climate effect, that is to say the sum of the warming and cooling effects, has been calculated for all the measures that have been assessed in this proposed action plan. This has not previously been done in Norwegian climate analyses.

The climate effects of the different components can be compared and summarised after conversion into so-called CO_2 equivalents. This can be done by multiplying emissions in tonnes by a factor that states the climate effect of the relevant component relative to the climate effect of a tonne of CO_2 with certain given assumptions. The three key assumptions are 1) the method for calculating the climate effect, typically global warming potential (GWP) or global temperature change potential (GTP); 2) the period of time over which the climate effect is calculated; and 3) the region where the emissions occur. This factor is called an emission metric. Global warming potential is the total climate forcing over the entire period, while temperature change potential is the temperature

response in the last year of the period. Thus GWP reflects all the effects on the climate that an emission has had during the period, while GTP gives a snapshot of the temperature response in the last year. The metrics are based on model studies. Calculating climate effect based on metrics represents a simplification compared to the application of models that explicitly include emissions as well as chemical and physical processes every time climate effects are to be analysed and assessed.

There is no international consensus over which metrics are most suitable for analysing short-lived climate forcers, but IPCC (2013) and several others state that the choice of metric depends on the purpose of the analysis. During the first commitment period of the Kyoto Protocol under UNFCCC, GWP calculated over a hundred-year period was used, regardless of where the emission occurred ("GWP100, global"). The Kyoto gases are methane, HFCs and several long-lived gases, including CO₂.

Our objective is to analyse the climate effects of short-lived climate forcers in the short term. As we have assessed it, "GTP10, Norway", i.e. global temperature change potential calculated ten years after the emission occurred in Norway, is the most appropriate metric for analysing measures for Norwegian emissions of short-lived climate forcers in the short term. This metric gives a snapshot of the temperature response 10 years after the emission and reflects both the short lifetime of short-lived climate forcers and the fact that the emissions occur in Norway.

A risk in using metrics to compare different climate forcers is that this creates the impression that it does not matter which component is reduced, as long as the estimated climate effect in CO₂ equivalents is the same. It is particularly important to bear this in mind when the climate effect of black carbon, which only stays in the atmosphere for a few days, is seemingly likened to CO₂ and other long-lived greenhouse gases by a metric that focuses on the properties of short-lived climate forcers. Using "GTP10, Norway", the emissions will only be "equivalent" in terms of temperature change ten years after the emissions occurred in Norway. CO₂ and other long-lived gases, on the other hand, have a lifetime in the atmosphere much longer than 10 years. The long-term effects of the long-lived gases on the climate system are thus not reflected in "GTP10, Norway". This applies for example to sustained global warming due to climate feedback of the carbon cycle, deep ocean temperature change, and other factors.

There is not one, single metric that describes the climate effects of both short-lived and long-lived components in an appropriate manner.

Significant climate effects of Norwegian emissions of black carbon and methane in the short term

The overall climate effect of Norwegian emissions of short-lived climate forcers was 35 million tonnes of CO_{2e(GTP10, Norway)} in 2011, distributed as shown in Figure S.2. The figure also includes the climate effect of OC and SO₂ which is co-emitted with short-lived climate forcers from some sources.

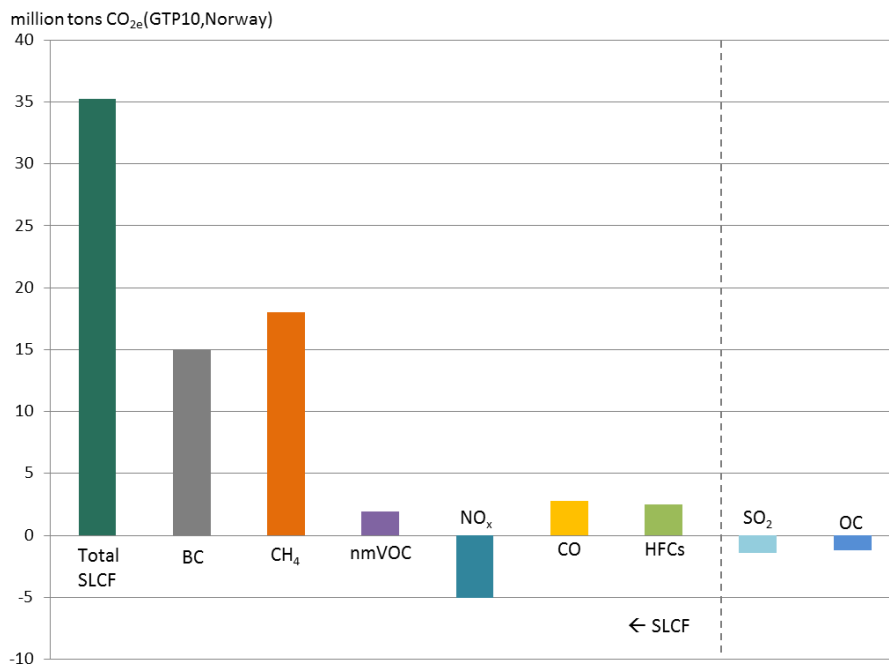


Figure S.2: Climate effect in 2011 expressed in million tonnes of CO_{2e}(GTP10, Norway) for Norwegian emissions of short-lived climate forcers, as well as SO₂ and OC. Source: Klif/SSB (2013), SSB (2013)

Figure S.2 shows that, for the short-lived climate forcers, the warming effect of Norwegian emissions is clearly largest for methane, followed by black carbon. The warming effect of the ozone precursors CO and nmVOCs, as well as HFCs, is considerably less. The ozone precursor NO_x, like OC and SO₂, has a cooling effect. NO_x emissions have a cooling effect in a ten-year perspective primarily because NO_x leads to a reduction of CH₄ in the atmosphere. OC and SO₂ emissions form particles that cause cooling because they reflect the sunlight.

The historical development and projection of climate effect in the short term are shown in Figure S.3 for long-lived gases, short-lived climate forcers, OC and SO₂. We can see that there is a reduction or little change for all components apart from CO₂ over the period 1990-2011, and that this trend is expected to continue to 2030.

The reductions are assumed to reflect measures already implemented and policies adopted. If we compare Norway's emissions of all climate forcers (both short- and long-lived), we can see that in the short term, only CO₂ has a higher climate effect than methane and black carbon. This has been the case since 1994. The combined climate effect given in CO_{2e}(GTP10, Norway) for methane and BC in 2011 was approximately 70% of the climate effect of Norwegian CO₂ emissions.

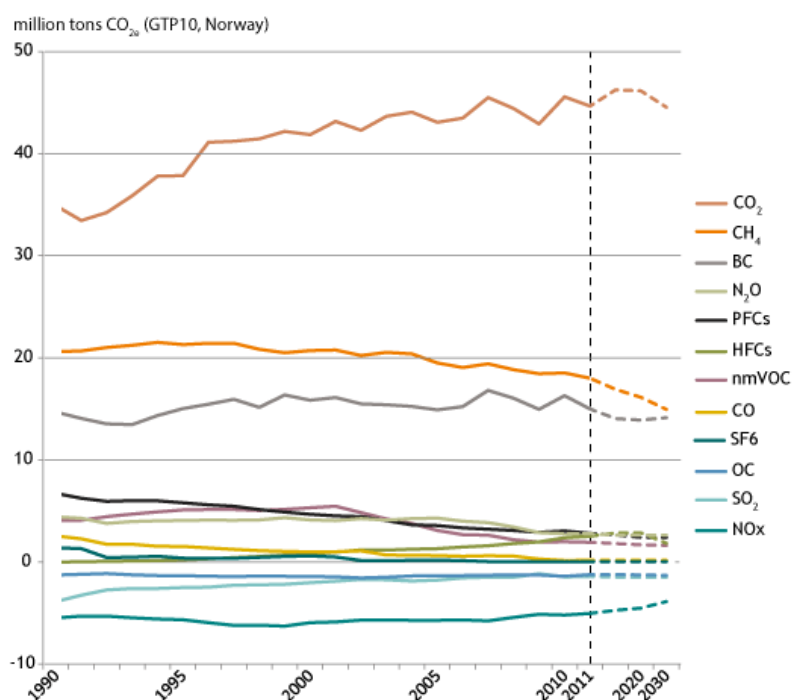


Figure S.3: Historical development and projection of the climate effect of all components in the reference scenario in $CO_{2e}(GTP10, Norway)$. Source: Klif/Statistics Norway(2013), Statistics Norway(2013), FIN(2013)

Important to reduce both short-lived climate forcers and CO_2 in the short term

Achievement of the $2^\circ C$ target that the world's leaders have set for preventing dangerous climate change requires a long-term reduction in warming. In a 100-year perspective, CO_2 and other long-lived greenhouse gases dominate the climate effect. The climate effect of the short-lived climate forcers is limited in a 100-year perspective. In order to avoid a warming of more than $2^\circ C$, it is therefore most important to reduce the emissions of CO_2 and other long-lived greenhouse gases.

In a ten-year perspective, the climate effect of short-lived climate forcers is considerable (Figure S.4), but even in a short-term perspective, the climate effect of Norwegian CO_2 emissions in 2011 alone was greater than the overall climate effect of all Norwegian emissions of short-lived climate forcers. This indicates that CO_2 reduction is also important in the short term. Rapid CO_2 reduction could help to limit the rate of warming in the short term. It is therefore important for Norway to implement CO_2 -measures quickly.

Measures aimed at short-lived climate forcers cannot replace CO_2 measures in either the short or long term. But reduced Norwegian emissions of short-lived climate forcers, and especially methane and BC, will reinforce the global climate benefits of rapid reductions in CO_2 emissions.

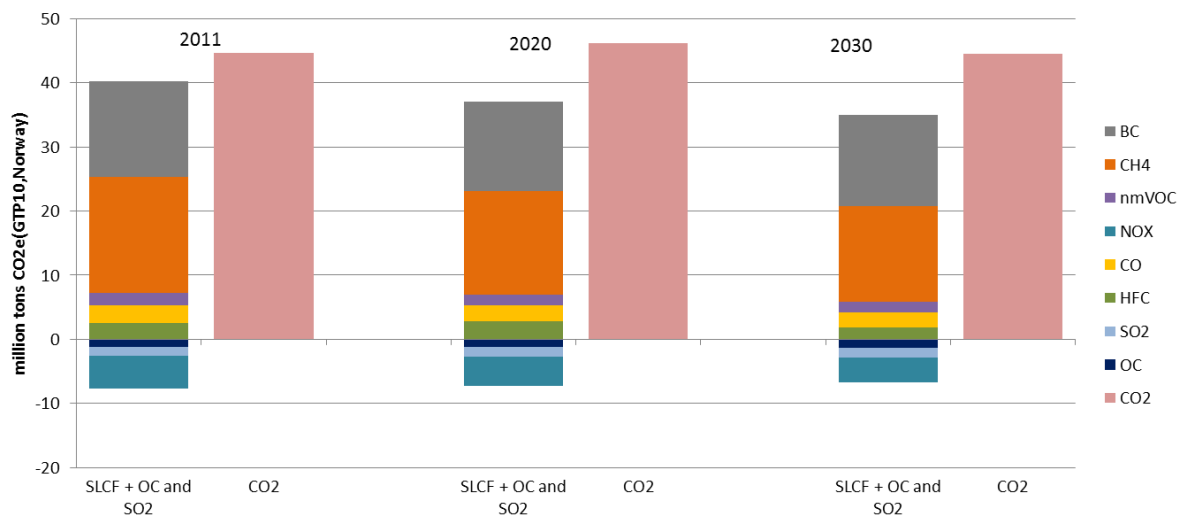


Figure S.4: Global climate effect of short-lived climate forcers (SLCFs), OC and SO₂ compared with that of CO₂ in 2011, 2020 and 2030

Norwegian BC emissions are of significance for the Arctic

Norwegian BC emissions have approximately a 1.5 times higher climate effect per tonne than the global average (Figure S.5) and may contribute to melting in the Arctic. This is because the albedo effect of Norwegian emissions is high compared to the global average due to our proximity to the Arctic. The same applies to other countries close to the polar regions or other snow- and ice-covered areas such as the Himalayas.

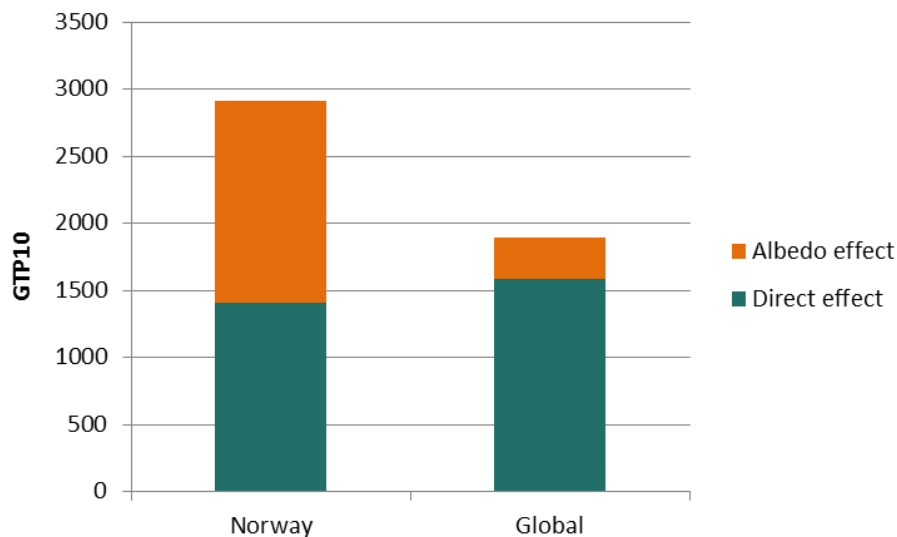


Figure S.5: The climate effect of a tonne of Norwegian BC emissions, compared to the global average climate effect per tonne of emissions. The metric is divided into the contribution from the direct effect (atmospheric absorption) and the albedo effect on snow and ice. Source: Hodnebrog m. fl. (2013)

A reduction in Norwegian BC emissions could give positive health effects in Norway

Reducing Norwegian BC emissions could also give health benefits, since the current high level of fine particles (PM_{2.5} which BC is part of) in cities and urban settlements may be detrimental to public health.

Due to black carbon's climate effects in the Arctic and its negative health effects, reduction of these emissions should be given special consideration.

No climate benefit from NO_x reductions

In a short-term perspective, reducing emissions of the ozone precursor NO_x will contribute to warming. In the longer term, e.g. 100 years, NO_x emissions have a minimal climate effect.

NO_x reductions will however give health and environmental benefits in Norway. In cities and urban settlements, the levels of NO₂ may be detrimental to public health. NO_x also contributes to the creation of ozone, which is hazardous to health. The environmental effect of nationally produced ozone is limited.

International collaboration is important for reducing levels of NO_x and ozone in Norway, since a high proportion of these components are long-range transboundary air pollutants. Norway must also meet its own obligations, and measures to reduce NO_x emissions for health and environmental reasons are already being assessed by the Norwegian Environment Agency (Norwegian Environment Agency, 2013b).

Framework for analysing measures and instruments

The objective of this part of the study is to perform an integrated assessment of climate, health and environmental effects of Norwegian emissions of short-lived climate forcers and propose measures and instruments for reducing effects by 2030. No target for emission reductions has been defined.

The analysis is limited to emissions covered by the Norwegian emission inventory as published by the Norwegian Environment Agency and Statistics Norway.

A number of "CO₂ measures" will reduce emissions of short-lived climate forcers. These include for example traffic-reducing measures or a transition to more environmentally-friendly vehicles or renewable energy. Such measures are generally not covered in this analysis and were last assessed in Climate Cure 2020 (Klif, 2010). The focus of the current analysis is therefore to identify emission reductions that are in addition to the reductions that follow from CO₂ measures. Thus, the analysis does not give an overview of the complete reduction potential for Norwegian emissions of short-lived climate forcers.

We have targeted our measures at emission sources where the reduction potential for short-lived climate forcers is large. Most of our measures are aimed at BC and CH₄, which are the short-lived climate forcers with the largest short-term climate effect (Figure S.2). The reduction potential of the measures is described in relation to the emission developments we expect on the basis of adopted policies, a so-called reference scenario.

For some measures, there may be a trade-off between desired climate benefit and positive health and environmental effects. As mentioned above, for example, NO_x reductions cause short-term

warming, but give health and environmental benefits. Our objective has been to reduce short term warming without significant, adverse health and environmental effects.

Within this framework, the intention has been to identify all measures with a significant reduction potential, and we have considered the reduction potential for all emission sources in the Norwegian emission inventory. In practice, however, the available basis of data and knowledge has been a limitation in terms of which measures it has been possible to assess. A detailed description of the measures in different sectors is given in the sector report (Norwegian Environment Agency, 2013c) accompanying the main report (Norwegian Environment Agency, 2013a).

The lack of data and knowledge has been a particular challenge for the petroleum sector, where we have only been able to assess two measures. These two measures are not necessarily the best measures for this sector, and more information should be obtained, so as to be able to assess further measures.

Since our analysis cannot give a complete overview of the reduction potential for Norwegian emissions of short-lived climate forcers, the work is intended to illustrate mitigation options targeting short-lived climate forcers. Further work may be necessary to identify the best measures, as well as to design the assessed measures appropriately.

Results of the analysis of measures

The combined climate effect, i.e. the sum of the warming and cooling effects, has been calculated for all measures. Emissions of NO_x, OC and SO₂ lead to a cooling of the atmosphere, and cause warming when they are reduced. This is particularly important to take into account for emissions that contain a high proportion of cooling components, such as organic carbon from burning wood. The share of OC in a tonne of particles from road transport emissions for example is much lower than from wood burning, so that the combined climate benefit of reducing a tonne of BC emissions from road transportation is larger than for a tonne of BC emissions from burning wood and other biomass. The implication is that measures aimed at emission sources that also emit large quantities of cooling components are not necessarily good climate measures under all circumstances.

We have assessed the combined climate effect, as well as health and environmental effects, for 18 non-overlapping measures, that is to say measures that genuinely complement each other because they reduce different emissions. Measures have been identified in six sectors (petroleum, industry, residential heating, transport, agriculture and HFCs in products) that together accounted for 83% of all Norwegian emissions of short-lived climate forcers in 2011.

The transport and agricultural sectors have the highest emissions of short-lived climate forcers measured in CO_{2e}(GTP10, Norway). In the transport sector, BC emissions from diesel engines dominate. Emissions of short-lived climate forcers from the agricultural sector consist exclusively of methane, most of which (87% in 2011) comes from enteric fermentation produced in digestive systems of ruminants and the remainder from manure management.

There are significant emissions from residential heating, which primarily comprise BC from wood burning. The petroleum sector has considerable BC emissions, from flaring and the use of diesel, and methane from cold venting and process leakages.

The sector HFCs in products covers all the HCF emissions which originate entirely from the use of HFCs in products such as heat pumps and refrigerants. Norway has comprehensive legislation to limit HFC emissions, and these emissions are now relatively limited. Even stricter requirements are being evaluated in the EU, however. In the industrial sector, BC and CO emissions have been more

than halved since 1990 as a result of lower production and improved technology, and emissions of short-lived climate forcers are now rather limited in the industry sector.

The climate effects of the 18 measures are shown at component level in Figure S.6a. We can see from the figure that the calculated reduction potential that could theoretically be triggered by the assessed measures is 4.3 million tonnes of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$ on average per year, i.e. approximately 12% of the combined emissions of short-lived climate forcers in 2011 which is 35 million tonnes of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$ (Figure S.2). The reduction potential in Figure S.6 includes both the warming components (positive climate effect) and the cooling components (negative climate effect) that are reduced.

The largest emission reductions are BC reductions, followed by methane and HFC reductions, both of which are regulated under the Kyoto Protocol (Figure S.6a). The combined effect of BC and OC reductions corresponds to 40% of the reduction potential of the 18 measures (Figure S.6b). Correspondingly, the combined effect of the reduction of the Kyoto gases methane and HFC is also 40%.

The final 20% comes from the long-lived greenhouse gases CO_2 and N_2O (13%) and the remaining short-lived climate forcers and SO_2 (7%). The NO_x and SO_2 reductions are too small to be visible in Figure S.6a.

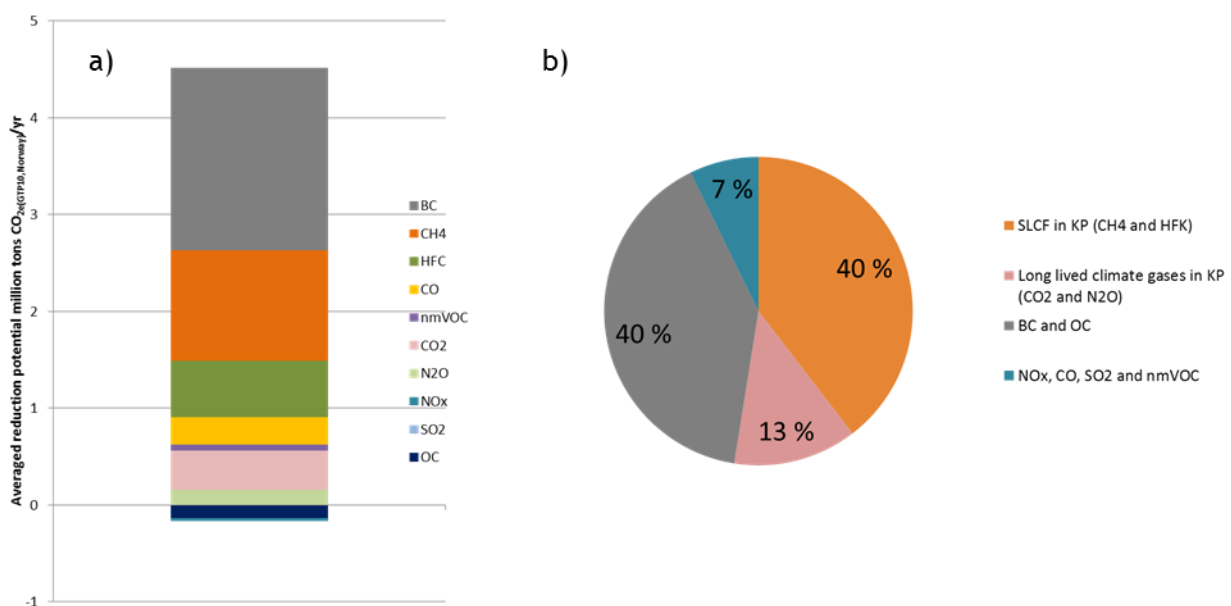


Figure S.6a: Average emission reductions in million tonnes of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$ per year for each component of the 18 non-overlapping measures. Note that the emission reductions for NO_x and SO_2 are too small to be visible in the figure. Figure S.6b: Percentage distribution of emission reductions for the 18 measures

In assessing these 18 measures, we have emphasised the cost per reduced tonne of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$, so-called cost effectiveness. The cost effectiveness of the measures has been calculated in line with

the Ministry of Finance's guidelines for socio-economic analysis⁴. The cost of the measures includes valued health effects when relevant, i.e. health benefits measured in NOK have been deducted from the cost of the measure. Eight of the 18 measures have health effects. The combined health benefits of these 8 measures average NOK 1.6 billion a year.

We have not had the data required to value the effects on forest and crops (environmental effects) in the same way as for health effects, but these are believed to have negligible significance for the conclusions of the analysis.

In Figure S.7, the measures have been ranked by increasing cost per reduced tonne of CO_{2e}(GTP10, Norway), i.e. by declining cost effectiveness. The annual reduction potential for the measures is summarised along the first axis (x axis). Thus the figure shows what reduction potential can be achieved for a given cost effectiveness (y axis). The cost effectiveness is also shown without health benefit (red dots) to demonstrate the significance health benefits have for cost effectiveness. The ranking of most measures changes when the health effect is no longer included.

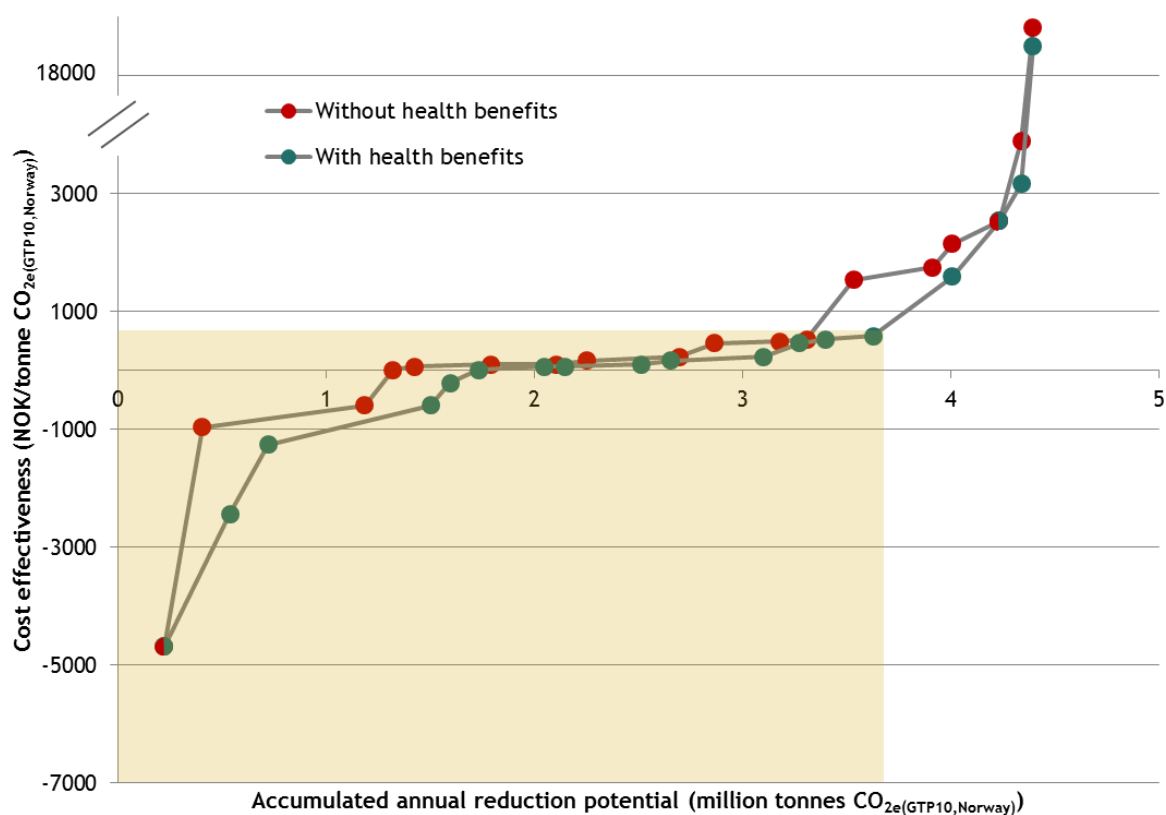


Figure S.7: Cost effectiveness and cumulative annual reduction potential for the 18 non-overlapping measures. The green dots show the cost effectiveness of the measures when health effects are taken into account. The red dots show cost effectiveness when the health effects are not considered

⁴ The calculation of cost effectiveness is explained in Norwegian Environment Agency (2013) and is in line with the Ministry of Finance guidelines, the climate benefit of the measures has not been valued.

Figure S.7 indicates that cost effectiveness becomes significantly poorer from around NOK 600 per reduced tonne of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$ for the curve that includes health benefits (green dots). Four of the measures are calculated to have cost effectiveness considerably poorer than NOK 600 per tonne of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$ and are outside of the yellow zone.

The figure also shows that the 8 measures with health effects become considerably more expensive if the health effects are not included (i.e. the line with the red dots lies above the line with the green dots).

Five measures have been calculated to cost less than NOK 0 per reduced tonne of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$. For two of the measures (wood burning) this is due to the large health benefits. For the other three measures, this is primarily due to cost savings.

Integrated assessment of the measures

In addition to considering the cost effectiveness including health effects, we have qualitatively and based on expert judgement assessed how realistic it is to achieve the estimated emission reductions through the most relevant instrument or combination of instruments. This is called emission reduction effectiveness. Emission reduction effectiveness is ranked qualitatively as high, moderate or low. In general, regulatory requirements are considered to be effective instruments, while raising awareness through public information and outreach are typically considered to be less effective. A combination of instruments is often necessary to trigger a measure. For example targeted information about financial support schemes could increase the emission reduction effectiveness of financial instruments.

In Table S.1, we list the cost effectiveness and the emission reduction effectiveness of all measures. Cost effectiveness includes both climate effect and health effect. Whether it is the climate effect or the health effect that has the largest impact on the calculation of the cost effectiveness of the different measures varies greatly. The climate effects of the measures differ a lot, and only 8 of the 18 measures have a health effect. We have therefore also listed the climate and health effects in the table.

Cost effectiveness and climate and health effects of the measures have been assessed as high, moderate or low on the basis of an interrelated evaluation⁵. No consideration has been given to whether the values for cost effectiveness and climate and health effects are low, moderate or high in relation to other analyses.

The assessment of all measures has been based on the measures as they have been designed here. It is possible to scale the measures differently. All of the measures are associated with uncertainties. These are discussed after the assessments.

The characteristics of the different measures are summarised in Table S.1 below.

⁵ Cost effectiveness (NOK/tonne $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$): H: < 0, M: 0-600, L: > 600. Climate effect (annual reduction in kilo tonnes of $\text{CO}_{2e(\text{GTP, Norway})}$): H: > 400, M: 200-400 and L: < 200. Health effect (annual health benefit in million NOK): H: > 100, M: 50-100, L: < 50.

Table S.1: Assessment matrix⁶

Measure	Primary component reduced in CO _{2e} (GTP10,Norway)	Climate effect in kilotonnes of CO _{2e} (GTP10,Norway)/yr	Health effect in NOK million/yr	Cost effectiveness in NOK/tonne	Instrument Emission reduction effectiveness (colour)
1. Reduced food waste	Methane	221	-	-4686	Information and outreach
2. Accelerated introduction of new stoves and pellet burners	BC, OC	318	808	-2433	Financial support combined with information and outreach
3. Energy efficiency in parts of industry	BC	183	54	-1255	Financial support (ENOVA) combined with information and outreach
4. Transition from red to white meat	Methane	781	-	-593	Information and outreach (consumer side) Financial support (production side)
5. Improved combustion practices, inspection and maintenance	BC, OC	94	222	-208	Inspection, information and outreach
6. Reducing the filling need and use of HFCs with low climate effect	HFCs	137	-	14	Regulatory requirement
7. Retrofitting of diesel particulate filters (DPFs) on construction machinery*	BC	314	133	67	Regulatory requirement. Low-emission zones
8. Increased recycling of nmVOCs and methane when loading crude oil offshore	nmVOCs, methane	101	-	71	Regulatory requirement. possible financial start-up support
9. Retrofitting and phasing in of DPFs on coastal vessels	BC	367	-	104	Regulatory requirement combined with financial support
10. Phasing in and retrofitting DPFs on fishing boats	BC	143	-	171	Regulatory requirement combined with financial support
11. Monitoring leak control and containment of HFCs	HFCs	445	-	236	Inspection/audit and supervision of the regulations
12. Retrofitting and phasing in of DPFs on mobile rigs	BC	171	-	465	Regulatory requirement and financial support
13. Conversion to Freiland process in the silicon carbide industry	CO	128	-	533	Regulatory requirement combined with financial support
14. Retrofitting of DPFs on light vehicles*	BC	226	216	589	Regulatory requirement combined with financial support. Low-emission zones.
15. Phasing in biogas from manure on buses	BC, methane	380	61	1591	Financial support
16. Retrofitting of DPFs on tractors	BC	224	-	2538	Regulatory requirement combined with financial support
17. Phasing in biogas from food waste on buses	BC, methane	110	81	3169	Financial support
18. Retrofitting of DPFs on heavy vehicles*	BC	54	17	18514	Regulatory requirement combined with financial support Low-emission zones.

⁶ *Measure that could give an NO₂ increase that reduces the positive health effects of the BC reductions (Sections 5.4.2 and 6.2.3). DPF: diesel particulate filter. Light brown: Low, Medium brown: Moderate, Dark brown: High. Cost effectiveness (NOK/tonne CO_{2e}(GTP10, Norway)): High: < 0, Moderate: 0-600, Low: > 600. Climate effect (annual reduction in kilo tonnes of CO_{2e}(GTP, Norway)): High: > 400, Moderate: 200-400 Low: < 200. Health effect (annual health benefit in NOK million): High: > 100, Moderate: 50-100, Low: < 50. In the column for instruments, the colour describes the degree of emission reduction effectiveness.

Potential emission reduction strategies

We have made an integrated assessment of our measures based on climate, health and environmental effects. The analysis of measures has highlighted both conflicting targets and win-win situations. In addition, the costs of the measures are also better reflected because the health effects are included. The basis for decision making is therefore more complete.

Even so, which measures should be chosen depends on a number of assumptions, not least the scaling of the measures and which selection criteria are used. We illustrate here six different groups of measures based on different strategies for emission reductions. Five of the strategies entail choosing measures based on one or more of the following criteria: cost effectiveness, emission reduction effectiveness, climate effect and health effect. The sixth group of measures consists of the measures which contribute towards fulfilling our obligations under the Kyoto protocol.

The first reduction strategy is based on cost effectiveness as the only selection criteria and results in the largest number of measures, that is the 14 measures that cost less than NOK 600 per tonne of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$ when the health effect is included. The next reduction strategy results in a group consisting of the 12 cost-effective measures that have moderate or high emission reduction effectiveness, i.e. two cost-effective measures with low emission reduction effectiveness are excluded from this group.

The third reduction strategy results in a group consisting of the five (of the 12) measures which are cost- and emission reduction effective and have a moderate or high climate effect. Correspondingly, the fourth reduction strategy results in a group consisting of the five (of the 12) measures which are cost- and emission reduction effective and have a moderate or high health effect.

The fifth reduction strategy results in a group consisting of the three measures that are cost- and emission reduction effective and have both a moderate or high climate effect and a moderate or high health effect.

Finally, we discuss the measures that contribute to fulfil our obligations under the Kyoto protocol. These are the five measures that primarily reduce HFCs and methane.

Reduction strategy 1: Cost effectiveness as the only selection criterion (14 measures)

If we remove all measures with poor cost effectiveness (i.e. over NOK 600 per tonne of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$ in the green curve, shown outside the shaded area in Figure S.7), this means that four of the 18 assessed measures are deemed too expensive to be implemented in this context. These are the biogas measures and the measures for fitting diesel particulate filters to existing heavy duty vehicles and tractors. It should be noted that these measures may be relevant to implement even though they do not meet the criteria that forms the basis of this analysis.

Figure S.8 is a graphical presentation of these 14 cost effective measures. Measures are numbered according to the numbering in Table S.1. The position of the circles illustrates the cost effectiveness and emission reduction effectiveness of the individual measures. The size of the circles indicates low, moderate or high climate and health effect. Filled circles represent the climate effect, while hatched circles represent the health effect.

If the strategy is to identify cost effective measures only, it would be relevant to implement the 14 measures as shown in Figure S.8. Measures 1-5 have negative cost effectiveness. These are *Reduced food waste*, *Accelerated introduction of new stoves and pellet burners*, *Energy efficiencies in parts of industry*, *Transition from red to white meat* and *Improved combustion practices, inspection and maintenance*. The five measures are listed here by rising cost per reduced tonne of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norway})}$,

i.e. by diminishing cost effectiveness (Table S.1, Figure S.6 first five green dots). The cost effectiveness of measures 6-14 is positive but below 600 NOK per tonne of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norway})}$.

Average annual reduction potential would be approximately 3.7 million tonnes of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norway})}$. This gives a 12% reduction in 2030 in relation to the short-lived climate forcers in the reference scenario which is 31 million tonnes of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norway})}$. Annual health benefits would be approximately NOK 1.4 billion.

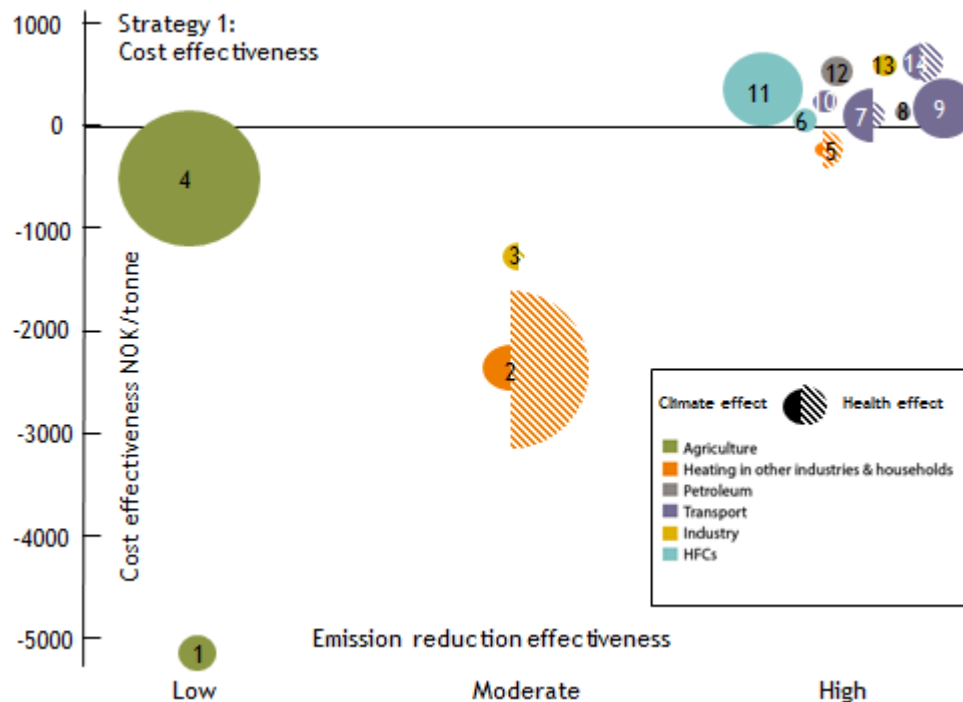


Figure S.8: Graphical presentation of measures resulting from Reduction strategy 1. Measures are numbered according to increasing cost per reduced tonne $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norway})}$ (decreasing cost effectiveness) as in Table S.1

Reduction strategy 2: Emission reduction effectiveness as an additional criterion to cost effectiveness (12 measures)

If the strategy is to identify cost effective measures that also have moderate and high emissions reduction effectiveness, the two agricultural measures would not be relevant to implement (*Transition from red to white meat* and *Reduced food waste*, number 4 and 1 in Figure S.8). Excluding these two measures would mean that the possibility for reducing methane emissions is substantially reduced.

Average annual reduction potential for these 12 measures would be approximately 2.6 million tonnes of $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norway})}$. This gives an 8% reduction in 2030 in relation to the short-lived climate forcers in the reference scenario. Annual health benefits remain at NOK 1.4 billion, since the agricultural measures have no health effect in this analysis.

It should nevertheless be considered to implement the agricultural measures, especially *Reduced food waste*, since they are calculated to have a cost substantially below 0 NOK per tonne reduced $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norway})}$, contribute to fulfilling the Kyoto targets and could complement the Waste Strategy

(MD, 2013) in relation to climate. Emission reduction effectiveness could be considerably improved if the measures were scaled down.

Reduction strategy 3: Cost and emission reduction effective measures with a moderate or high climate effect (5 measures)

If the strategy is to identify measures with moderate and high climate effects among the 12 cost and emission reduction effective measures resulting from Reduction strategy 2, these would be *Monitoring leak control and containment of HFCs*, *Retrofitting and phasing in of diesel particulate filters (DPFs) on coastal vessels*, *Accelerated introduction of new stoves and pellet burners*, *Retrofitting of DPFs on construction machinery* and *Retrofitting of DPFs on light vehicles* i.e. measures 11, 9, 2, 7 and 14 as shown in Figure S.9. The measures are listed here by diminishing climate effect. There is some uncertainty linked to the climate effect of particulate filters since these measures could give a small increase in CO₂ emissions. This should be further investigated.

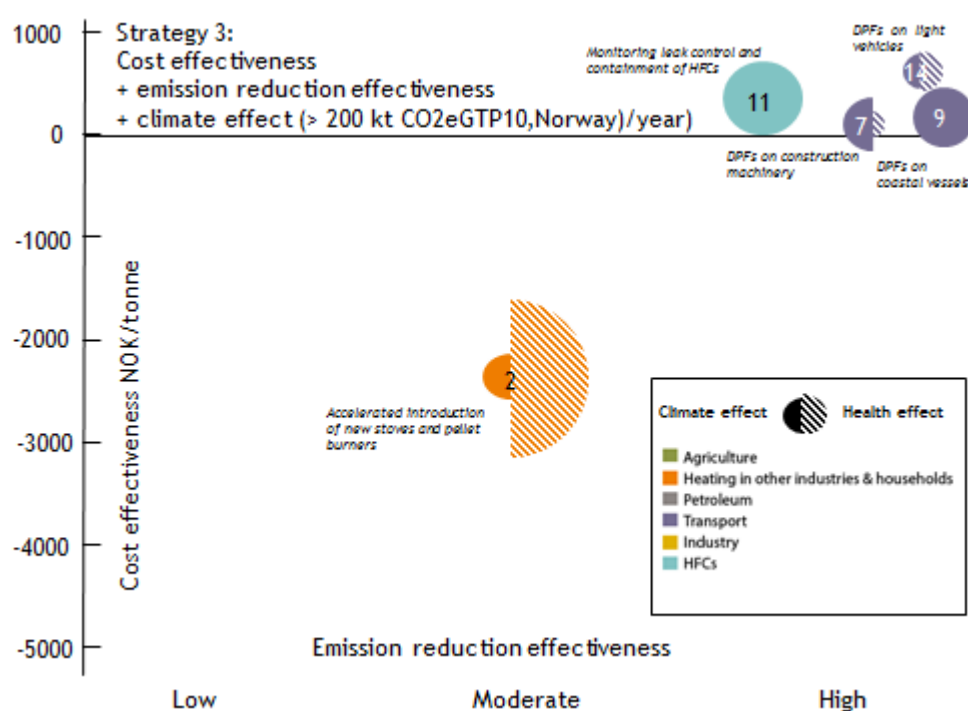


Figure S.9: Graphical presentation of measures resulting from Reduction strategy 3. Measures are numbered according to increasing cost per reduced tonne CO_{2e}(GTP10,Norway) (decreasing cost effectiveness) as in Table S.1

Average annual reduction potential would be approximately 1.7 million tonnes of CO_{2e}(GTP10,Norway). This gives a 5% reduction in 2030 in relation to the short-lived climate forcers in the reference scenario. Three of these measures have a valued health effect and would have an annual health benefit of approximately NOK 1.1 billion.

Reduction strategy 4: Cost and emission reduction effective measures with a moderate or high health effect (5 measures)

If the strategy is to identify measures with moderate and high health effects among the 12 cost and emission reduction effective measures in Reduction strategy 2, these would be *Accelerated introduction of new stoves and pellet burners*, *Improved combustion practices*, *inspection and*

maintenance, Retrofitting of diesel particulate filters (DPFs) on light vehicles, Retrofitting of DPFs on construction machinery and Energy efficiencies in parts of industry i.e. measures 2, 5, 14, 7 and 3 as shown in Figure S.8. The measures are listed here by diminishing health effect. There is some uncertainty linked to the health effect of the two particulate filter measures, since these could give a small increase in NO₂ emissions. This should be further investigated.

Average annual reduction potential would be approximately 1.1 million tonnes of CO_{2e(GTP10,Norway)}. This gives a 4% reduction in 2030 in relation to the short-lived climate forcers in the reference scenario. Annual health benefits for these five measures, i.e. the entire health benefit for the 14 cost-effective measures, would be approximately NOK 1.4 billion.

Reduction strategy 5: Cost and emission reduction effective measures with both a moderate/high climate effect and a moderate/high health effect (3 measures, win-win)

If the strategy is to identify measures with moderate and high climate and health effect among the 12 cost- and emission reduction effective measures in Reduction strategy 2, these three would be *Accelerated introduction of new stoves and pellet burners, Retrofitting of diesel particulate filters (DPFs) on construction machinery and Retrofitting of DPFs on light vehicles i.e. measures 2, 7 and 14 as shown in Figure S.10.* There is some uncertainty linked to the climate and health effect of the two particulate filter measures. This should be further investigated.

Average annual reduction potential would be approximately 0.9 million tonnes of CO_{2e(GTP10,Norway)}. This gives a 3 % reduction in 2030 in relation to the short-lived climate forcers in the reference scenario. Annual health benefits would be approximately NOK 1.2 billion.

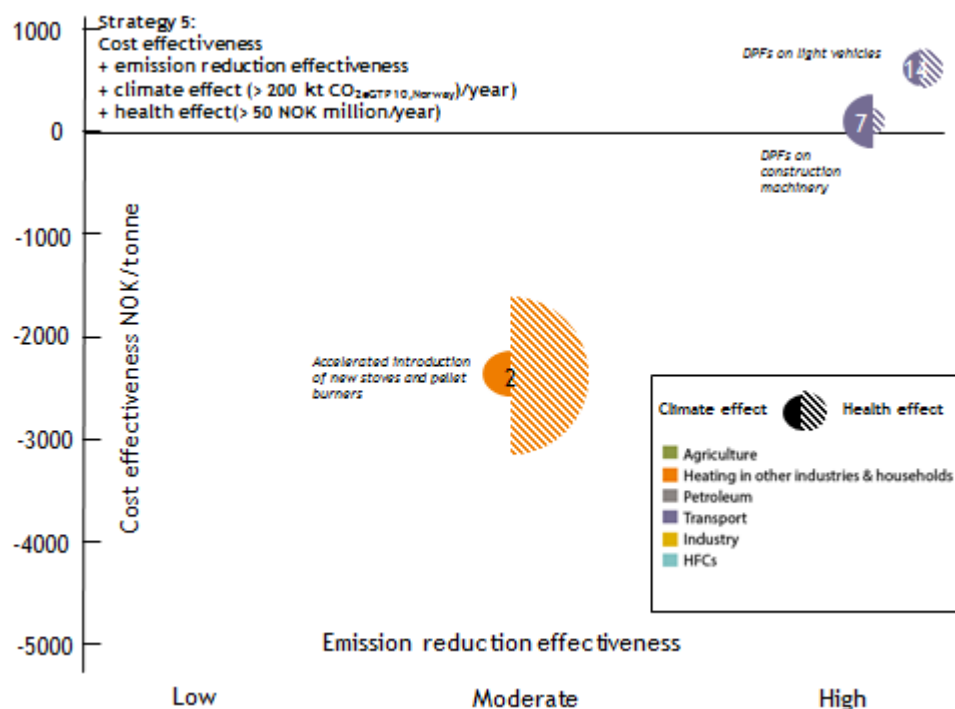


Figure S.10: Graphical presentation of measures included in Reduction strategy 5. Measures are numbered according to increasing cost per reduced tonne CO_{2e(GTP10,Norway)} (decreasing cost effectiveness) as in Table S.1

Measures contributing to fulfilling our obligations under the Kyoto Protocol

Five of the measures reduce only HFCs or primarily methane, which are regulated under the Kyoto Protocol. The HFC measures are *Reducing the filling need and use of HFCs with low climate effect* and *Monitoring leak control and containment of HFCs*. The measures that primarily reduce methane are *Reduced food waste*, *Transition from red to white meat* and *Increased recycling of nmVOCs and methane when loading crude oil offshore*. These measures would help to comply with the national climate targets for greenhouse gases.

Average annual reduction potential would be approximately 1.7 million tonnes of CO_{2e}(GTP10,Norway). This gives a 5% reduction in 2030 in relation to the short-lived climate forcers in the reference scenario. In this analysis, no health effects have been valued for these measures as they have no direct health effects under normal circumstances.

The average annual reduction potential, the percentage reduction in relation to the short-lived climate forcers in the reference scenario and the average annual health benefits for these six reductions strategies are summarised in Table S.2 below.

Table S.2: The effects of measures based on different reduction strategies

	Reduction strategy	Reduction potential in million tonnes of CO _{2e} (GTP10,Norway)/year	Reduction in relation to the short-lived climate forcers in the 2030 reference scenario	Health benefits in billion NOK / year
7.	Cost-effective measures	3.7	12%	1.4
8.	Cost and emission reduction effective measures	2.6	8%	1.4
9.	Cost and emission reduction effective measures with a moderate/high climate effect	1.7	5%	1.1
10.	Cost and emission reduction effective measures with a moderate/high health effect	1.1	4%	1.4
11.	Cost and emission reduction effective measures with both a moderate/high climate effect and a moderate/high health effect	0.9	3%	1.2
12.	Regulated under the Kyoto Protocol	1.7	5%	0

Uncertainties

As with other analyses of measures, there are uncertainties associated with this analysis. Such uncertainties are i.a. associated with the cost of measures, the technological maturity of several largely untested technologies and the degree to which instruments can be introduced so as to obtain the measures' full technical reduction potential. For particulate filters, there is uncertainty regarding the extent to which these lead to an increase in fuel consumption and NO₂ emissions.

Some other types of uncertainty derive from the basis of scientific knowledge being immature and having developed in parallel with the work on the action plan. These uncertainties are mainly associated with emission inventories and the calculation of emission reductions and climate, health and environmental effects. The uncertainties are generally largest for BC and to some extent also OC and SO₂. For health effects, the uncertainty is largest for BC reductions, which have been valued in principle as PM₁₀ reductions. More research and investigation must be done to reduce these uncertainties.

There are also uncertainties relating to the metric (as a result of uncertainty in modelling) and the choice of metric. Sensitivity analyses with various metrics indicate that the climate effect of the measures is generally reduced if the time horizon is increased from 10 to 100 years. The wood-burning measures are primarily health measures in the long term (little climate effect).

Even though there are un-quantified uncertainties related to the climate effect of measures, we consider that all the assessed measures has climate effect in the short term. The measures will be more expensive if the climate effect is overestimated. We assume that uncertainty regarding the health effect is considerably less than for the climate effect. For the eight measures that have a health effect, we cannot judge whether the health effect is over- or underestimated.

Need for further assessments and comparison with other studies

In addition to the 18 measures discussed above, we have identified a number of reduction possibilities that cannot currently be analysed quantitatively because of a lack of basic data and knowledge. We see a need to obtain more information, so as to assess whether there may be useful measures among these reduction possibilities. Reductions of short-lived climate forcers in traditional CO₂ measures should also be looked at, in order to assess how emissions of short-lived climate forcers can be reduced most effectively. Given the necessity for rapid climate mitigation, this should not hamper implementation of the most appropriate measures analysed in this report.

It is worth noting that it is not possible to make any direct comparisons between the cost effectiveness of the measures for short-lived climate forcers analysed in this action plan either with traditional climate measures such as in Climate Cure 2020 (Klif, 2010) and the McKinsey curve (Enkvist et al., 2007) or with the price of carbon offsets. Climate Cure 2020 covered the long-lived greenhouse gases CO₂, N₂O, PFCs and SF₆, and also CH₄ and HFCs. Emission reductions in Climate Cure 2020 are calculated as CO_{2e}(GWP100, global), while this action plan has used CO_{2e}(GTP10, Norway) as a basis for calculating climate effects.

National monitoring

There is a need to strengthen the planned national monitoring of black carbon, organic carbon and methane. Norwegian participation in the Integrated Carbon Observation System (ICOS) network would help to cover the need for monitoring methane. There is a further need for local monitoring of black carbon.

Possible national targets for short-lived climate forcers

Norway currently has national climate targets in connection with the greenhouse gases regulated by the Kyoto Protocol under the UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), i.e. CO₂, methane, HFCs, PFCs, N₂O and SF₆. The obligations are linked to long-term temperature stabilisation.

Consideration could be given to establishing a short-term target for reducing the rate of warming, in addition to the present long-term targets. Any short-term target should cover all the components

that have a temperature response in the short term, i.e. both short-lived climate forcers and CO₂ and other long-lived components.

Since several of the short-lived climate forcers are also air pollutants, it is important to see the achievement of targets for climate change and air pollution in relation to each other. When establishing targets for climate and air pollution, one should consider taking the mutual effects these have on each other into consideration.

Improved coordination of work on short-lived climate forcers

Public administration involves many decisions influencing both climate change and air pollution. This work is performed in conjunction with various national and international initiatives, and there are a number of different groups involved. There is therefore a need for increased coordination, both within public administration and in relation to external organizations in order to ensure coherent policies.

International collaboration

Norway already participates in a number of global and regional initiatives aiming to reduce emissions of short-lived climate forcers. The regional initiatives include work in connection with the LRTAP, the EU, the Arctic Council and the Nordic Council. The global initiatives include the Climate and Clean Air Coalition (CCAC)/UNEP, the Montreal Protocol (the inclusion of HFCs is being considered), the Climate Convention (methane and HFCs), the UN International Maritime Organisation (IMO) and the Global Methane Initiative.

Norway should work actively to establish an international definition of and measurement methods for BC, as well as guidelines for reporting of emissions. Norway should in addition promote harmonised international monitoring of the short-lived climate forcers. Norway should also work towards a binding international collaboration, to reduce BC emissions especially. Methane and HFCs are covered by the Kyoto Protocol, and ozone precursors are covered by the Gothenburg Protocol.

In the short term, this should occur through regional initiatives such as the LRTAP and possibly the Arctic Council. In the longer term, this could possibly be done through the Climate Convention or other global initiatives. Because of the regional nature of the short-lived climate forcers, further consideration must be given to whether the Climate Convention is a suitable arena.

Innledning

Bakgrunn for forslaget til handlingsplan for kortlevde klimadrivere

De senere årene har klima-, helse- og miljøgevinstene forbundet med å redusere utslipp av kortlevde klimadrivere fått økende internasjonal og nasjonal oppmerksomhet.

Kortlevde klimadrivere er i dette forslaget til handlingsplan definert som gasser og partikler som bidrar til oppvarming og som har en levetid fra noen dager og opp til 15 år. Dette omfatter dermed svart karbon (BC), troposfærisk ozon (O₃), metan (CH₄) og noen hydrofluorkarboner (HFK-er) (vedlegg 1). Metan og HFK-er er regulert under Kyotoprotokollen.

Med unntak av svart karbon er samtlige av disse komponentene gasser. Svart karbon er den lysabsorberende andelen av fine partikler (PM_{2,5}) og dannes hovedsakelig ved ufullstendig forbrenning av fossile brensler, biobrensler og biomasse. Organisk karbon (OC) og svoveldioksid (SO₂), som bidrar til avkjøling, kan bli sluppet ut fra de samme kildene som de kortlevde klimadriverne.

Fordi kortlevde klimadrivere kun oppholder seg kort tid i atmosfæren, vil reduksjon av slike utslipp kunne gi en rask klimagevinst. En rapport fra FNs Miljøprogram viser at ett sett reduksjonstiltak rettet mot de kortlevde klimadriverne kan redusere den globale oppvarmingen med 0,5 °C innen 2050 (UNEP/WMO, 2011).

Temperaturreduksjonen forårsaket av reduserte utslipp av kortlevde klimadrivere vil imidlertid være kortvarig. For å hindre oppvarming på lengre sikt, må utslipp av langlevde klimagasser som CO₂ reduseres betraktelig. Ved å implementere tiltak både for kortlevde klimadrivere og langlevde klimagasser, vil vi kunne få en rask klimagevinst på kort sikt, og dermed øke sjansen for å overholde det langsiktige togradersmålet som verdens ledere har satt for å forhindre farlige klimaendringer.

Ifølge Klimameldingen (St. mld. nr. 21 (2012)) vil Regjeringen arbeide for en ambisiøs klimaavtale i tråd med togradersmålet. I henhold til Statsbudsjettet for 2012 (St. prp. nr. 1 (2011)) skal internasjonal innsats for reduserte klimagassutslipp videreføres, og tiltak rettet på kortlevde klimadrivere identifiseres som en mulighet for å nå målene.

Norge har i dag ingen nasjonale klimamål rettet direkte på kortlevde klimadrivere. Vi har imidlertid indirekte forpliktet oss til å redusere utslipp av kortlevde klimadrivere samt OC og SO₂ gjennom flere internasjonale klima- og luftavtaler. Disse forpliktelsene omfatter bl.a.:

- Kyotoprotokollen hvor Norge bl.a. skal redusere utslipp av CH₄ og HFK.
- Gøteborgprotokollen⁷ hvor Norge har forpliktet seg til å redusere utslipp av bl.a. ozonforløperne NO_x og nmVOC, samt fine partikler (PM_{2,5} som inneholder både BC og OC) og SO₂. Gøteborgprotokollen oppfordrer også til å utarbeide utslippsregnskap og framskrivninger for utslipp av svart karbon, men foreløpig er forpliktelser kun rettet på fine partikler (PM_{2,5}).

⁷http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full%20text/Informal_document_no_17_No23_Consolidated_text_checked_DB_10Dec2012_-_YT_-_10.12.2012.pdf

- EØS-relevant EU-regelverk gjelder også for Norge og omfatter bl.a. EUs takdirektiv, luftkvalitetsdirektiv, EUs ozondirektiv, samt reguleringer av relevante utslipp fra ulike kjøretøy og omfattende regulering av HFK-er. Et forslag til nedfasing av bruk av HFK-er fram til 2030 er under behandling.

Utover disse avtalene har Norge engasjert seg i arbeidet med kortlevde klimadrivere både regionalt og globalt.

Gjennom Svalbarderklæringen fra 2012 samarbeider de nordiske landene om å videreutvikle og forsterke nasjonale utslippsregnskap og identifisere reduksjonstiltak for kortlevde klimadrivere.

Norge var med og ledet Arktisk Råds arbeidsgruppe for kortlevde klimadrivere fra 2009-2013. Denne arbeidsgruppen la fram anbefalinger om tiltak for reduksjonen i utslipp av kortlevde klimadrivere i Arktis^{8,9}.

Norge deltar også aktivt i det globale partnerskapet for klima og ren luft (CCAC) fra april 2012 (vedlegg 2). Koalisjonen jobber for å fremme utslippsreduserende tiltak knyttet til bl.a. dieseldrevet kjøretøy, olje/gassproduksjon, alternativ teknologi for HFK, mursteinproduksjon, avfallsfyllinger, jordbrukssektoren, rentbrennende kokeovner i utviklingsland og oppvarming i husholdningene.

Gjennom FN støtter Norge også arbeidet med et globalt nedfasingssystem for HFK-er under Montrealprotokollen om ozonreduserende stoffer.

De ulike avtalene og annet internasjonalt samarbeid er nærmere beskrevet i vedlegg 3.

Mandat for arbeidet

Miljøverndepartementet (MD) har bedt Miljødirektoratet utarbeide et forslag til en handlingsplan for å redusere norske utslipp av kortlevde klimadrivere innen 2030.

Oppdragets består i å gi en helhetlig vurdering av klima-, helse- og miljøeffekter av norske utslipp av kortlevde klimadrivere og foreslå tiltak og virkemidler for å redusere slike effekter innen 2030. En viktig del av arbeidet har vært å definere hvilke komponenter som skal dekkes av arbeidet og hvilke definisjoner som skal benyttes for disse komponentene, samt lage utslippsregnskap og framskrivninger for alle komponentene. Vi har valgt å la arbeidet omfatte alle HFK-er som slippes ut i Norge bl.a. fordi de langlevde og kortlevde HFK-ene som oftest opptrer i blandinger og tiltak ikke kan eller bør rettes bare på kortlevde HFK-er (kapittel 1.4).

I dette arbeidet er klimaeffekt definert som global oppvarming eller avkjøling av atmosfæren. Helseeffekt er definert som påvirkning på befolkningens helse forårsaket av gitte konsentrasjoner av én eller flere forurensningskomponenter. Miljøeffekt er definert som påvirkning på avling og skog forårsaket av gitte konsentrasjoner av én eller flere forurensningskomponenter.

⁸ http://arctic-council.npolar.no/accms/export/sites/default/en/meetings/2011-nuuk-ministerial/docs/3-0a_TF_SPM_recommendations_2May11_final.pdf

⁹ www.arctic-council.org/index.php/en/document-archive/category/447-slc-f-tf?download=1764:task-force-on-short-lived-climate-forcers-final-summary-report-english

Ettersom kortlevde klimadrivere er et relativt nytt felt, har mye av arbeidet bestått i å utarbeide metodikk, utslippsregnskap, framskrivinger og vurderinger av usikkerheter for å være i stand til å gjennomføre tiltaksanalysen. Vi har begrenset analysen til utslipp som inngår i de norske utslippsregnskapene slik de publiseres i samarbeid mellom Miljødirektoratet og SSB.

Videre er formålet for arbeidet å identifisere verdien av å redusere kortlevde klimadrivere i tillegg til å redusere utslippene av CO₂ og andre langlevde klimagasser. Tiltak rettet på reduksjoner av CO₂ og andre langlevde gasser er ikke omfattet av denne analysen og ble sist utredet i Klimakur 2020 (Klif, 2010).

En rekke "CO₂-tiltak" vil imidlertid også redusere utslipp av kortlevde klimadrivere. Dette gjelder for eksempel trafikkreduserende tiltak eller overgang til mer miljøvennlige kjøretøy eller fornybar energi. Denne analysen gir dermed ikke en oversikt over det fullstendige reduksjonspotensialet for norske utslipp av kortlevde klimadrivere.

I tillegg skal det gis en oversikt over tilgjengelig overvåkingsdata for kortlevde klimadrivere, samt vurdere hvorvidt etablert overvåking dekker forvaltningens behov.

Organisering av arbeidet

Miljødirektoratet har hatt en tverrfaglig prosjektorganisasjon for arbeidet med handlingsplanen. Vi har samarbeidet med flere eksterne aktører, men Miljødirektoratet er alene ansvarlig for innholdet i rapporten.

Utslippsregnskapet for svart og organisk karbon har vært utarbeidet sammen med Statistisk sentralbyrå (SSB). SINTEF Energi, Carbon Limits og Statens Landbruksforvaltning (SLF) har utført utviklingsarbeid for utslippsregnskapene av kortlevde klimadrivere. Cicero har bistått oss med modellering og vurdering av klimaeffekt. Hans T. Haukås AS, Norconsult, Norsk Energi, SINTEF Energi og Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) har bistått oss i tiltaks- og virkemiddelanalysen.

Nasjonalt folkehelseinstitutt (FHI) har bistått oss i vurdering av helseeffekter.

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har bistått oss i kartlegging av nasjonal og internasjonal overvåkning.

Avinor, Direktoratet for Byggkvalitet, Jernbaneverket, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Oljedirektoratet (OD), Petroleumstilsynet, Sjøfartsdirektoratet og Vegdirektoratet har vært orientert om arbeidet og gitt innspill til mulige tiltak og forutsetninger for tiltakene.

Metodisk tilnærming

Så vidt Miljødirektoratet kjenner til, er det ingen land eller institusjoner som tidligere har utarbeidet en nasjonal handlingsplan for å redusere kortlevde klimadrivere med et tilsvarende mandat. En viktig del av arbeidet har derfor vært å utvikle metoder for vurdering av norske utslipp av kortlevde klimadrivere.

Rapporten er delt i to deler. I del I beskriver vi klima-, helse- og miljøeffekt av norske utslipp av kortlevde klimadrivere, samt resultater av våre metodiske vurderinger for en tiltaksanalyse. I del II er metodikken som er utviklet, benyttet til å gi illustrative eksempler på mulige tiltak og virkemidler for norske utslipp av kortlevde klimadrivere.

Metodikk som ikke er beskrevet i del I, er beskrevet enten i vedlegg 6 Metode for beregning av utslippsestimater og framskrivinger eller vedlegg 7 Metode for tiltaksanalysen. Nasjonale og globale vektfaktorer for å beregne klimaeffekt av norske utslipp er gitt i vedlegg 8 og Nasjonale verdsettingfaktorer for helse er gitt i vedlegg 9.

Del I: Klima-, helse- og miljøeffekt av kortlevde klimadrivere

1. Norske utslipp av kortlevde klimadrivere

I dette kapittelet definerer vi de ulike kortlevde klimadriverne og viser data for norske utslipp for perioden 1990-2011 og framskrivninger for årene 2020 og 2030. Klima-, helse- og miljøeffektene er beskrevet i kapittel 2.

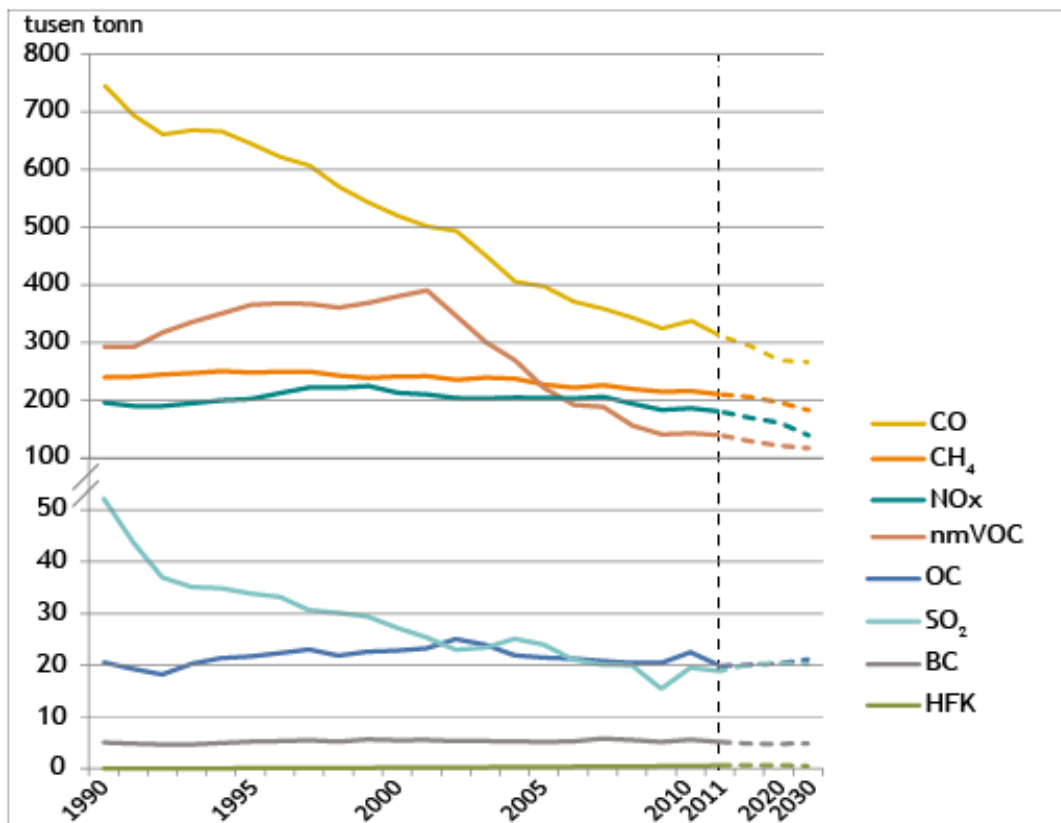
Med norske utslipp menes her utslippene som inngår i de norske utslippsregnskapene slik de publiseres i samarbeid mellom Miljødirektoratet og SSB. Det norske utslippsregnskapet legger til grunn alle utslipp som skjer innenfor Norges grenser. Det betyr blant annet at utslipp fra transport mellom Norge og andre land ikke omfattes.

Vi viser også data for de avkjølende komponentene organisk karbon (OC) og svoveldioksid (SO₂). Flere av utslippskildene til disse komponentene er felles med svart karbon (BC), og de bidrar til å dempe klimagevinsten av reduserte BC-utslipp fra disse kildene.

Utslippsregnskapet for svart karbon og organisk karbon har blitt etablert i dette prosjektet (SSB, 2013). Resterende utslipp er hentet fra det nasjonale utslippsregnskapet som publiseres av Miljødirektoratet og SSB (Klif/SSB, 2013). Utarbeidelsen av BC- og OC-regnskapene, samt metodikk for framskrivning av alle komponenter er beskrevet i vedlegg 6.

Det er usikkerhet forbundet med alle utslippsregnskap. Usikkerheten varierer fra komponent til komponent. For kortlevde klimadrivere utenom BC er usikkerheten mellom 10 og 50 prosent (Klif, 2013b; SSB, 2001). Usikkerheten for BC antas å være betydelig høyere. Til sammenligning er usikkerheten for CO₂ 2-3 % (Klif, 2013b; SSB, 2001).

Usikkerhetene i det norske partikkelregnskapet som BC hovedsakelig er basert på, er ikke kvantifisert. Fra litteraturen kan det antas at usikkerheten i partikkelutslipp er i størrelsesorden flere hundre prosent (Vestreng m. fl., 2005). For å etablere utslippsregnskapet for BC ble det foretatt målinger av utslipp fra norske vedovner fordi det er en betydelig kilde til partikkelutslipp i Norge. Resulterende utslippsfaktorer representerer en forbedring i forhold til tidligere anvendte faktorer for utslipp av partikler, men det er behov for ytterligere kunnskapsinnhenting og eventuell tillempling av Norsk Standard for å etablere mer representative utslippsfaktorer fra denne kilden (kapittel 3.4.1)



Figur 1.1: Historiske utslipp (1990 - 2011) og framskriving (2020 og 2030) av kortlevde klimadrivere, OC og SO₂ i tonn per år. Kilde: Klif/SSB (2013), SSB (2013), FIN (2013)

Figur 1.1 viser utviklingen per komponent for alle de kortlevde klimadriverne, samt OC og SO₂. Under figuren følger definisjon og forklaring for hver enkelt komponent. BC og OC er mer utførlig beskrevet enn de andre komponentene. Resterende komponenter er nærmere omtalt i vedlegg 4.

Klimaeffekten av de ulike komponentene, og spesielt forholdet til organisk karbon og SO₂ som bidrar til avkjøling, er beskrevet i kapittel 2.1. Hvilke implikasjoner dette har for mulige tiltak, er beskrevet i kapittel 3.2.1.

1.1. Svart karbon (BC)

1.1.1. Definisjon av BC

Svart karbon (BC) er i forslaget til handlingsplan definert som den lysabsorberende andelen av fine partikler (PM_{2,5}) og dannes hovedsakelig ved ufullstendig forbrenning av fossile brensler, biobrensler og biomasse. BC dannes også ved slitasje på vei- og dekk. Det er ulike måter å benevne karboninnholdet i partikler på. Hvilken betegnelse man bruker, avhenger av målemetoden som benyttes, og til dels også i hvilken sammenheng karbonet omtales. Ved bruk av optiske metoder gjengis måleresultatet som BC. Ved bruk av termisk-optiske metoder, gjengis resultatet som elementært karbon (EC). Foreløpig finnes det ikke en vedtatt internasjonal eller nasjonal målestANDARD for BC.

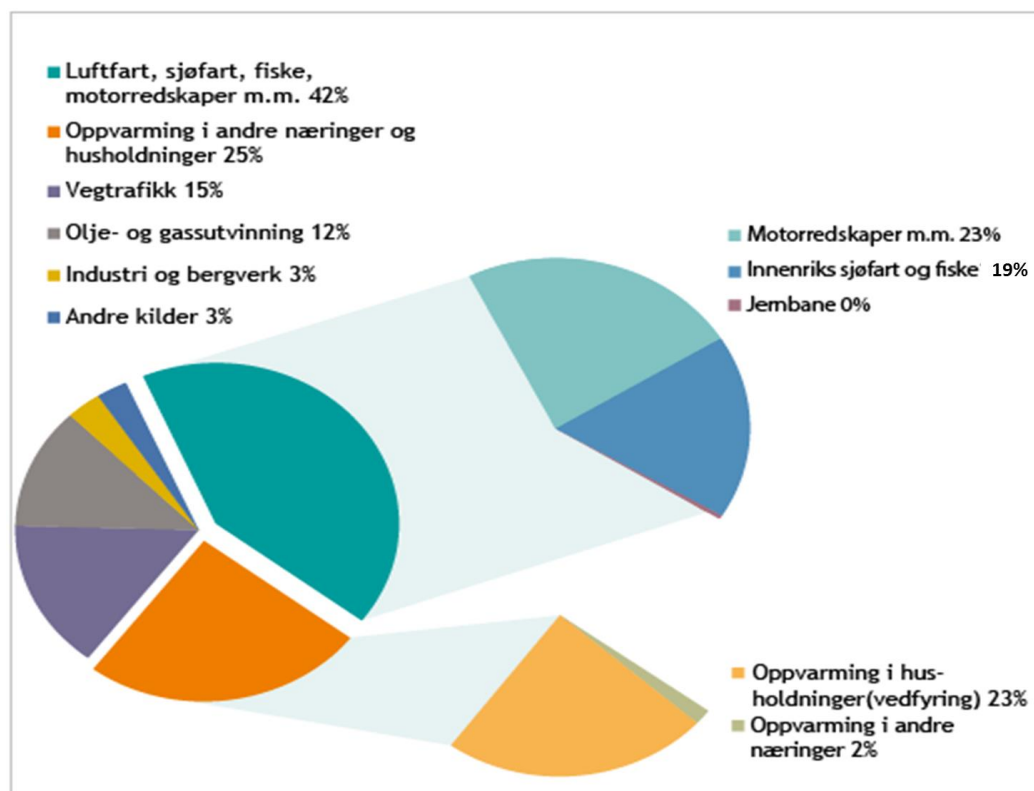
På klimafeltet er det karbonets lysabsorberende egenskaper som er essensiell. Det er derfor vanlig å omtale karbonet som BC i klimasammenheng. I praksis benyttes EC-målinger ofte som estimat for BC for eksempel ved utvikling av utslippsregnskap. I dette arbeidet er EC-målinger benyttet som

estimat for BC ved etablering av utslippsfaktorer for utslipp fra bl.a. vedovner (vedlegg 6). Begrepene BC og EC brukes om hverandre både på norsk og internasjonalt. Begrepet "sot" benyttes også ofte for å beskrive svart karbon, men sot inneholder en rekke komponenter utover BC.

1.1.2. Norske utslipp av BC

Utslippene av svart karbon i Norge var på 5100 tonn i 2011 (SSB, 2013). Utslippene er fordelt på mange kilder, de fleste knyttet til vedfyring i husholdningene og dieseldrevne motorer (figur 1.2). Disse utslippene følges av utslipp av organisk karbon, som er avkjølende. OC-utslippene er omtalt i kapittel 1.5. Utslippene av svart karbon har variert mellom 4600 og 5800 tonn fra 1990 til 2011. Figur 1.3 viser historisk utvikling av BC-utslipp på sektornivå. Figuren viser også framskrivninger for 2020 og 2030. Totalt forventes BC-utslippene å gå noe ned framover mot 2030 primært på grunn av strengere krav til dieseldrevne kjøretøy og maskiner.

Figur 1.2 viser prosentvis fordeling av BC-utslipp for de ulike sektorene i det nasjonale norske utslippsregnskapet slik det publiseres av Miljødirektoratet og SSB. Den sammensatte sektoren *Luftfart, sjøfart, fiske, motorredskaper m.m.* utgjør hele 42 % av de nasjonale BC-utslippene og er vist fordelt på undersektorer. Figuren viser også oppdeling av sektoren *Oppvarming i andre næringer og husholdninger* i undersektoren *Oppvarming i husholdninger*, primært vedfyring, og de andre mindre kildene.



Figur 1.2: Kildefordeling av norske 2011-utslipp av svart karbon fordelt på sektor. Kilde: SSB (2013)

Figur 1.2 viser at vedfyring i husholdningene var den største enkeltkilden til norske BC-utslipp i 2011 og utgjorde 23 % av de nasjonale utslippene dette året. Disse utslippene inngår i sektoren *Oppvarming i andre næringer og husholdninger* som bidro til 25 % av BC-utslippene i 2011 (oransje

farge). Vedfyring i husholdningene er den dominerende utslippskilden for organisk karbon (83 % av de nasjonale OC-utslippene, jfr. kapittel 1.5).

Figur 1.3 presenterer utslipp av svart karbon i perioden 1990-2011 og framskrivninger for 2020 og 2030. Utslipp fra Oppvarming i andre næringer og husholdninger (oransje) varierer og følger hovedsakelig utviklingen i vedforbruket, men utslippet har en noe lavere vekst enn vedforbruket på grunn av overgang til nyere ovnsteknologi. Utslippene forventes å øke noe fram mot 2030 på grunn av økt vedforbruk.

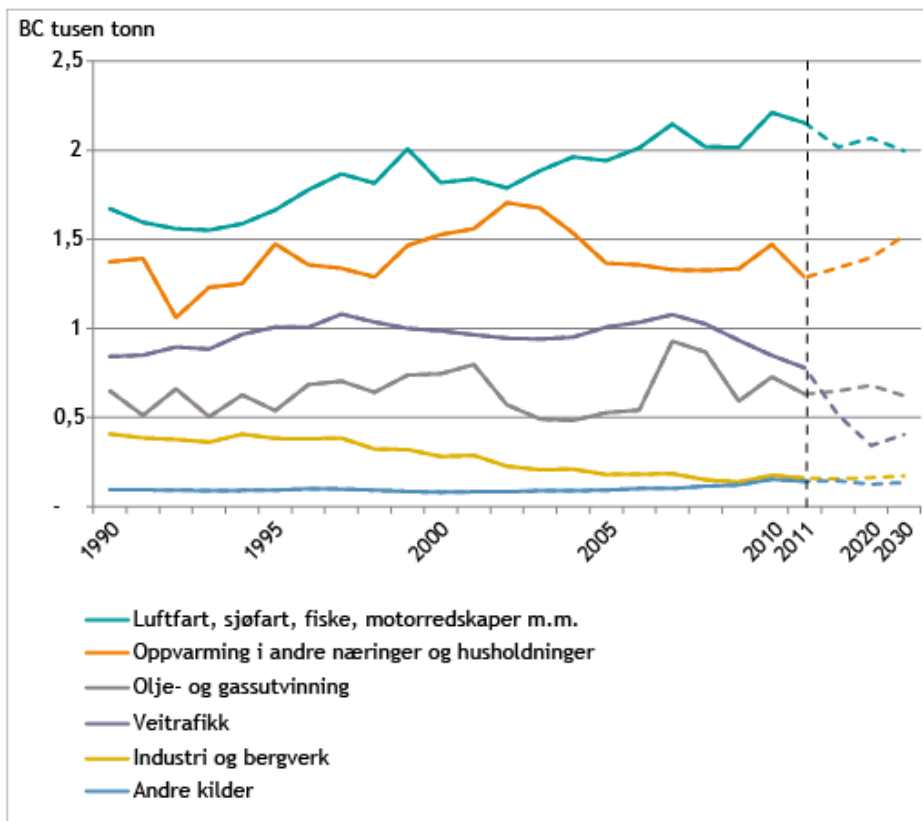
Sektoren med størst utslipp av BC i 2011 var den sammensatte sektoren *Luftfart, sjøfart, fiske, motorredskaper* (figur 1.2, grønn farge). Utslippene fra denne sektoren utgjorde i 2011 42 % av nasjonale BC-utslipp. Utslippene stammet fra dieseldrevne maskiner, bl.a. traktorer og anleggsmaskiner (23 % av nasjonale utslipp) og Innenriks skipstrafikk og fiske (18 % av nasjonale BC-utslipp). Figur 1.3 viser at utslippene fra sektoren *Luftfart, sjøfart, fiske, motorredskaper* (grønn) har vært størst helt siden 1990. Utslippene i denne kategorien domineres av traktorer og anleggsmaskiner som bruker diesel som drivstoff. Trenden følger drivstofforbruket. Utslippene forventes å gå svakt ned fram mot 2030 som følge av bl.a. strengere utslippskrav til maskinene (figur 1.3, stiplet grønn).

Utslipp av svart karbon fra *Veitrafikk* (figur 1.2, lilla farge) utgjorde 15 prosent av de totale utslippene av svart karbon i 2011 og ble dominert av utslipp fra dieseldrevne kjøretøy. Figur 1.3. viser at utslippene i sektoren, *Veitrafikk* (lilla) økte til 2007 pga. økning i antall dieseldrevne personbiler og på grunn av økningen i antall kjørte km (trafikkarbeidet). Utslippene fra bensinbiler og dieseldrevne tunge kjøretøy gikk ned i samme periode. Fra 2007 ble utslippet redusert for alle kjøretøyskategorier. Utslippene av svart karbon var i 2011 om lag åtte prosent lavere enn i 1990. Nedgangen skyldtes større andel kjøretøy med alternativ motorteknologi (overgang til elektriske-, hybrid- og gassdrevne kjøretøy) og implementering av strengere krav til eksosutslipp fra nye kjøretøy (Euro-klassene). Dette medførte reduserte utslipp per kjørte km slik at det totale utslippet er redusert til tross for at trafikkarbeidet har økt i perioden. Utslippene forventes å gå ytterligere nedover mot 2020 pga. Euro-klassekrav og ytterligere overgang til alternativ motorteknologi. Etter dette er det ventet at utslippene kan gå noe opp igjen ettersom effekten av disse tiltakene er tatt ut og trafikkveksten vil fortsette (figur 1.3, stiplet lilla).

Utslippene fra *Olje- og gassutvinning* (figur 1.2, grå) utgjorde 12 prosent av de totale utslippene av svart karbon i 2011 og stammet primært fra faking av gass og dieseldrevne motorer. Det er ingen klar trend for utslippene fra *Olje- og gassutvinning* (figur 1.3, grå) mellom 1990 og 2011. Dette skyldes at BC-utslippene påvirkes av en rekke faktorer, som for eksempel boreaktivitet og behovet for sikkerhetsfaking.

Sektoren med de laveste utslippene er *Industri og bergverk* (figur 1.2, gul farge) som stod for 3 prosent av de norske totalutslippene i 2011. Utslippene fra industrisektoren har blitt redusert med 60 % siden 1990 (figur 1.3, gul). Nedgangen har vært relativt jevn over perioden 1990- 2011 og skyldes forbedret teknologi og nedleggelser. Det er ikke ventet store endringene i framtidige utslipp fra *Industri og bergverk*.

Andre kilder (figur 1, mørk blå farge) inkluderer blant annet utslipp fra energiforsyning, dekk- og veislitasje, samt branner og kremasjoner, og sto for 3 prosent av utslippene i 2011. Økningen i utslipp fra *Andre kilder* mellom 1990-2011 (Figur 1.3, mørk blå) skyldes endringen i *Energiforsyning* (utslipp fra forbrenning av ved i fjernvarmeanlegg) som er lagt i denne sektoren. Det er ikke ventet store endringer i framtidige utslipp fra *Andre kilder*.



Figur 1.3: Utslipp av svart karbon i perioden 1990-2011 (kilotonn / år) og framskrivninger (2020 og 2030). Kilde: SSB (2013), FIN (2013)

1.2. Ozon (O₃) og ozonforløperne

Ozon finnes både i stratosfæren (ca. 15 til 35 km over bakken) og i troposfæren (fra bakkenivå til ca. 10-15 km over bakken). Det stratosfæriske ozonet utgjør ozonlaget som beskytter alt liv mot skadelig ultrafiolett stråling fra sola. Dette forslaget til handlingsplan omfatter kun troposfærisk ozon som, i tillegg til å være en klimadriver, kan gi negative helse- og miljøeffekter ved bakkenivå.

Troposfærisk ozon slippes ikke ut, men dannes ved reaksjoner mellom flyktige organiske forbindelser med unntak av metan, (nmVOC), metan (CH₄), karbonmonoksid (CO) og nitrogenoksider (NO_x) i nærvær av solstråling. Stoffer som bidrar til dannelse av ozon, kalles ofte ozonforløpere. nmVOC, CH₄, CO og NO_x omtales i dette dokumentet både som ozonforløpere og kortlevde klimadrivere.

1.2.1. Karbonmonoksid (CO)

Utslipp av CO skyldes hovedsakelig ufullstendig forbrenning av fossile brensler, biobrensler og biomasse. I 2011 var oppvarming i husholdningene den største kilden. Utslippene har blitt mer enn halvert, fra 747 000 tonn i 1990 til 311 000 tonn i 2011. Det er særlig utslippene fra veitrafikken som har blitt redusert som et resultat av krav til utslippsbegrensninger gjennom kjøretøyforskriften. Utslipp fra veitrafikken forventes å gå ytterligere ned framover pga. dette mens det er ventet lite endring i utslippene fra de andre sektorene fram mot 2030 (vedlegg 4).

1.2.2. Flyktige organiske forbindelser med unntak av metan (nmVOC)

Fordampingsutslipp fra behandling av råolje, bensin og bruk av løsemidler er de største kildene til utslipp av nmVOC. Utslippene har blitt redusert siden 1990. Dette skyldes spesielt utslippene fra lasting av råolje som har gått kraftig ned siden 2007 som følge av pålegg om gjenvinning av oljedampen. Også utslippene fra veitransport har blitt redusert som en følge av strengere avgasskrav. De totale utslippene i 2011 var på 139 000 tonn. Utslippene fra bruk av løsemidler var den største kilden. I henhold til framskrivningene er det ventet liten endring i utslippene fram mot 2030 (vedlegg 4).

1.2.3. Nitrogenoksider ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$)

De største kildene til utslipp av NO_x er forbrenning av fossilt brensel i mobile kilder på land og til havs, fra olje- og gassutvinning og fra industrien. Utslippene har gått noe ned siden 1990, og er i 2011 på 180 000 tonn. Utslippene fra veitrafikken har gått vesentlig ned (43 %) som følge av strengere avgasskrav mens utslippene fra de andre mobile kildene har gått noe mindre ned. Samtidig har utslippene fra olje- og gassutvinning økt vesentlig (92 %) i perioden. Det ventes at utslippene av NO_x vil fortsette å gå noe ned framover mot 2030 som følge av allerede vedtatte strengere avgasskrav til kjøretøy, og NO_x -avtalen, en avtale om utslippsreduksjoner som ble inngått mellom Miljøverndepartementet og en rekke næringslivsorganisasjoner i 2008 og 2010 (vedlegg 4).

1.3. Metan (CH_4)

Metan dannes ved ufullstendig forbrenning av fossile brensler, biobrensler og biomasse, samt ved anaerob (uten oksygen) nedbrytning av visse typer organisk materiale. I tillegg kan metan frigis ved utvinning av kull.

Utslipp av metan kommer primært fra nedbrytning av organisk materiale hos drøvtyggere, i avfallsdeponier og fra olje- og gassutvinning. Utslippene har gått noe ned siden 1990. Det er spesielt utslippene fra avfallsdeponiene som har blitt redusert som følge av reguleringer som deponiforskriften fra 2002. I 2011 var utslippene av metan 209 000 tonn, hvorav om lag halvparten kom fra jordbruk, de andre store kildene var olje- og gassutvinning og avfallsdeponier. Utslippene fra avfallssektoren er ventet å gå ytterligere ned fram mot 2030 på grunn av deponiforbudet for våtorganisk avfall, mens det er ventet lite endring i utslippene fra de andre sektorene (vedlegg 4).

1.4. Hydrofluorkarboner (HFK-er)

HFK-er er en gruppe industrielt framstilte gasser bestående av hydrogen, fluor og karbon. Forbindelsene brukes blant annet som kuldemedium i kjøle- og fryseanlegg, varmepumper og luftkondisjoneringsanlegg for bygninger og kjøretøy. Gassene har varierende levetid. Fem av de ni HFK-ene som inngår i utslippsregnskapet har levetid under 15 år (vedlegg 4). Vi beskriver her likevel utslipp av alle HFK-ene i utslippsregnskapet. I praksis opptre HFK-er som oftest i blandinger slik at tiltak på kortlevde HFK-er også vil omfatte langlevde HFK-er. I tillegg vil tiltak som kan rettes kun på HFK-er med kort levetid, kunne gi økning i bruk av langlevde HFK-er med større negativ klimaeffekt dersom de langlevde HFK-ene ikke reguleres parallelt (vedlegg 4, tabell V4.1). Våre analyser omfatter derfor alle HFK-ene som inngår i det norske utslippsregnskapet.

I 1990 var utslippene av HFK-er svært små, men fra midten av 1990-årene økte bruken sterkt som følge av at de ble fasett inn som erstatninger for ozonnedbrytende gasser som KFK og HKFK. Veksten i utslipp av HFK antas å ha blitt dempet av en avgift på produksjon og import av HFK som ble innført i 2003. Utslippene ventes å nå en topp litt før 2020, for deretter å reduseres betydelig fram mot

2030, primært som følge av innførte krav til gassen i luftkondisjonering i kjøretøy, og større markedsandel for nyere gasser som har lavere klimaeffekt.

En revidert F-gassforordning er til behandling i EU. Forslaget inneholder en rekke tilleggskrav sammenlignet med dagens ordning. Det viktigste er nedfasing av markedstilgangen for HFK-er, som skal reduseres trinnvis i perioden 2015-2030. I tillegg foreslås det i forordningen forbud mot å importere nylig produsert HFK med høy klimaeffekt fra 2020. Fra 2025 forbys også bruk av gjenvunnet medium med høy klimaeffekt. Bruk av HFK-er i ulike hermetiske småanlegg foreslås begrenset over perioden 2015-2020. De omfattende kravene vil framtvinge store utslippsreduksjoner dersom disse vedtas. Ettersom framskrivningen kun baserer seg på vedtatt politikk, reflekter ikke framskrivningen denne reduksjonen (vedlegg 4).

1.5. Organisk karbon (OC)

1.5.1. Definisjon av OC

Organisk karbon er den reflekterende andelen av fine partikler ($PM_{2,5}$) (figur 2.3 øverst til venstre). Sammen med svart karbon utgjør organisk karbon den dominerende karbonholdige delen av partikler. I likhet med BC dannes organisk karbon hovedsakelig ved ufullstendig forbrenning av fossile brensler, biobrensler og biomasse. I motsetning til BC som slippes ut samtidig med OC, har organisk karbon en avkjølende effekt på klima. OC er definert ved bruk av termisk-optiske metoder for bruk i det norske utslippsregnskapet (SINTEF, 2013).

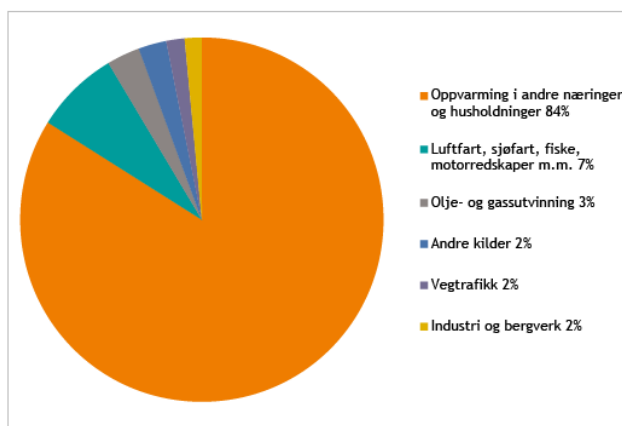
1.5.2. Norske utslipp av OC

Figur 1.4 viser kildene til organisk karbon i Norge i 2011. OC-utslippet var i 2011 19 900 tonn. De totale utslippene av OC har ligget mellom 18 200 og 25 000 tonn i perioden 1990-2011 (figur 1.5). Trendene domineres av utviklingen i forbruket av energivare fra de to største utslippskildene som er ved og diesel. Totalt er det ventet liten endring i OC-utslippene framover mot 2030 som følge av økning i vedforbruket.

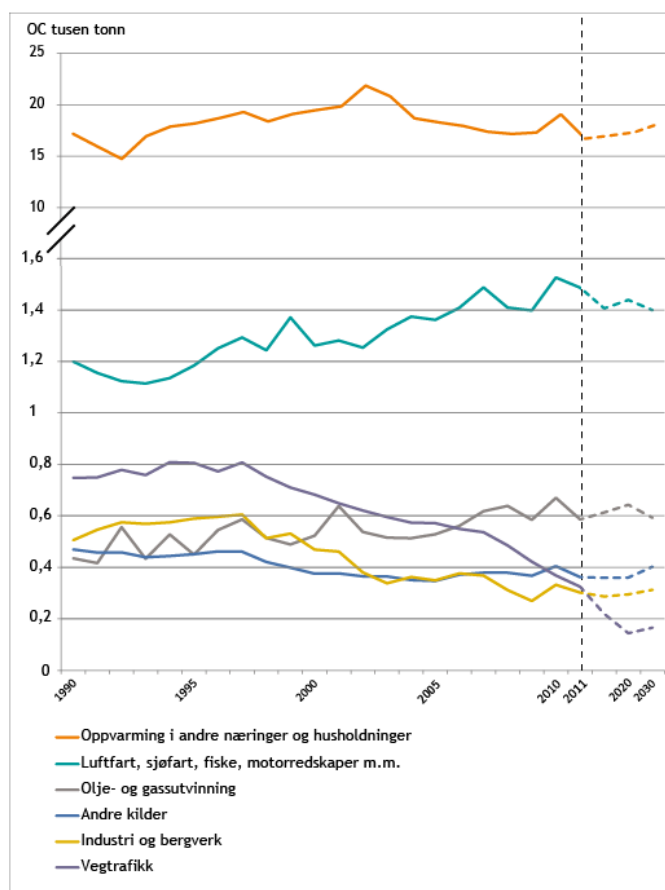
Vedfyringsutslipp fra husholdningene utgjorde 83 prosent av de nasjonale utslippene av OC i 2011. Vedfyring var den største enkeltkilden til OC og inngår i sektoren *Oppvarming i andre næringer og husholdninger* (figur 1.4, oransje farge). Utslippene fra vedfyring forventes å stige fram mot 2030 pga. økt vedforbruk (figur 1.5, stiplet oransje).

Den nest største sektoren (7 % av nasjonale OC-utslipp) er *Luftfart, sjøfart, fiske, motorredskaper m.m.* (figur 1.4, grønn). De største utslippskildene i denne sektoren er dieseldrevne anleggsmaskiner, traktorer og motorredskaper. Utslipp fra dieseldrevne motorer forventes å gå noe ned pga. strengere avgasskrav og overgang til mer energieffektive kjøretøy (figur 1.5, stiplet grønn).

I hver av de resterende sektorene er utslippene små (2-3 prosent av de nasjonale OC-utslippene).



Figur 1.4: Utslipp av organisk karbon (OC) fordelt på kilder i 2011. Kilde: SSB (2013)



Figur 1.5: Utslipp av organisk karbon i perioden 1990-2011 (kilotonn / år) samt framskrivninger (2020 og 2030). Kilde: SSB (2013), FIN (2013)

1.6. Svoveldioksid (SO₂)

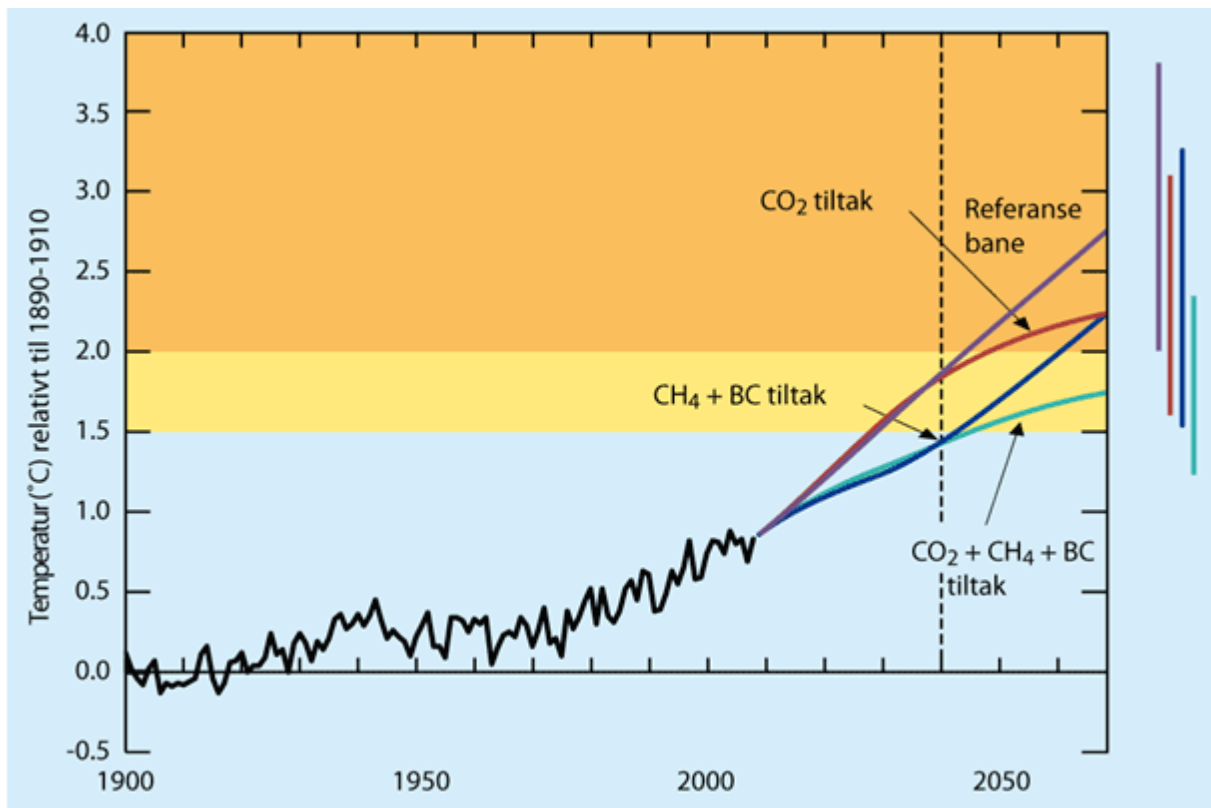
Svoveldioksid (SO₂) dannes ved forbrenning av stoffer som inneholder svovel, i hovedsak kull og olje, samt ved en rekke industriprosesser.

I 2011 var de totale utslippene av SO₂ 18 800 tonn, hvor de største kildene er industri og bergverk. Utslippene av SO₂ har gått sterkt ned i Norge siden 1990. Nedleggelse av industri, krav til svovelinhold i ulike oljeprodukter, innføring av svovelavgift, Svovelavtalen med prosessindustrien og krav hjemlet i forurensningsloven har bidratt vesentlig til reduksjonen. Det er ventet lite endringer i utslippene fram mot 2030 (vedlegg 4).

2.Effekter av kortlevde klimadrivere

2.1. Klimaeffekt av kortlevde klimadrivere

En rapport fra FNs Miljøprogram viser at reduksjoner i kortlevde klimadrivere kan redusere den globale oppvarmingen med 0,5 °C (UNEP/WMO, 2011) innen 2050 ved implementering av 16 utvalgte tiltak. Dette er illustrert i Figur 2.1



Figur 2.1: Global gjennomsnittlig temperaturreduksjon på grunn av tiltak på kortlevde og langlevde klimadrivere iverksatt fra 2010. Kilde: UNEP/WMO (2011)

Figur 2.1 over viser observert avvik av temperatur fra før-industrielt nivå fram til 2010 relativt til middeltemperaturen 1890-1910 og deretter projeksjoner under ulike scenarioer fram mot 2070. Ifølge figuren kan den globale oppvarmingen forventes å bli mer enn to grader allerede før 2050 dersom ingen tiltak gjøres (lilla linje). Dersom CO₂-tiltakene implementeres (rød linje), vil det ta noe tid før oppvarmingen begrenses. Dette skyldes dels den lange levetiden til CO₂ og dels at disse CO₂-tiltakene reduserer 35-40 prosent av globale SO₂-utslipp. Utslipp av SO₂ fører til dannelse av sulfatpartikler i atmosfæren som sprer sollyset og virker avkjølende. Implementering av tiltak for kortlevde klimadrivere (blå linje), vil kunne gi raskere reduksjon i temperaturen, men temperaturen vil stige like hurtig som i referansebanen fra omkring 2030 fordi effekten av tiltakene da er tatt ut og nye tiltak ikke er igangsatt. Utslippsnivået forblir således på 2030-nivå. Ved å implementere tiltak både for CO₂ og kortlevde klimadrivere (grønn linje), vil vi imidlertid få både en raskere klimagevinst og øke sjansen for å overholde det langsiktige togradersmålet.

En studie fra 2013 (Smith og Mizrahi, 2013) bekrefter at reduksjon i kortlevde klimadrivere vil gi en rask temperatureffekt. Temperaturreduksjonen i 2050 fra dette studiet er 0,16 °C og lavere enn i UNEP-studiet primært på grunn av lavere utslipp i referansebanen.

Regionalitet

Ettersom svart karbon og ozon oppholder seg kort tid i atmosfæren, transporteres ikke disse komponentene over tilstrekkelig lange avstander til å gi en uniform konsentrasjon i atmosfæren. Disse komponentene har derfor en høyere klimaeffekt i den regionen utslippet finner sted. I likhet med CO₂ og andre langlevde gasser, oppholder metan og HFK-er seg derimot lenge nok i atmosfæren til å fordele seg relativt jevnt i atmosfæren og har dermed tilnærmet samme globale klimaeffekt uavhengig av hvor utslippene finner sted (IPCC, 2007).

2.2. Valg av vektfaktor for global klimaeffekt av norske utslipp

Klimaeffekt er i dette forslaget til handlingsplan definert som global oppvarming eller avkjøling av atmosfæren. Klimaeffekten for ulike komponentene som påvirker klima kan sammenlignes og summeres etter omregning til såkalte CO₂-ekvivalenter. Dette kan gjøres ved å multiplisere utslippet i for eksempel tonn med en såkalt vektfaktor (på engelsk *emission metric*).

En vektfaktor er bygd opp av følgende tre elementer: 1) Beregningsmetodikk, 2) Tidsperioden klimaeffekten beregnes over og 3) Regionalitet (det vil si hvor utslippet skjer).

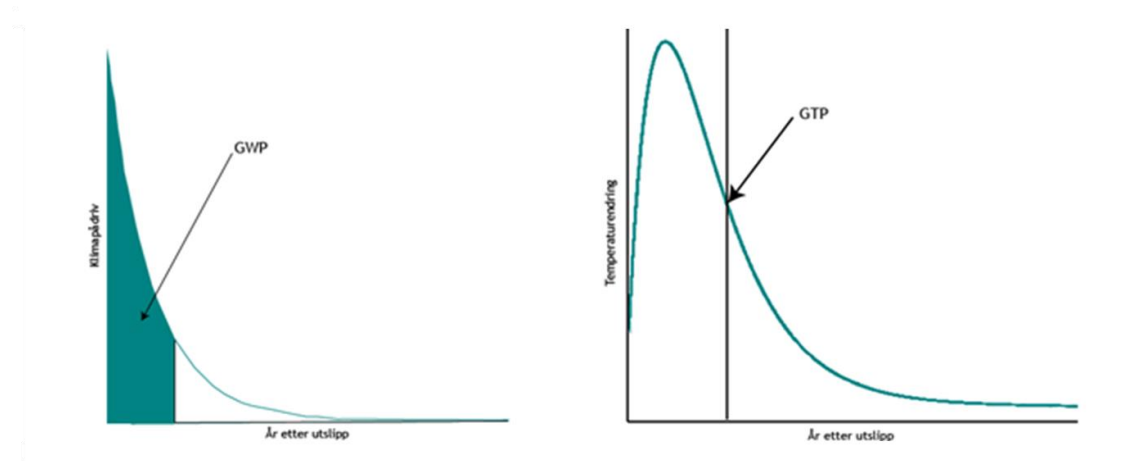
Det er ikke internasjonal enighet om hvilken vektfaktor som er best egnet for analyse av kortlevde klimadrivere, men IPCC (2013) og flere andre f.eks. Shine (2009), Fuglestad m. fl. (2010) peker på at valg av faktor avhenger av analysens formål. Både nasjonalt og internasjonalt har de fleste klimaanalyser vært rettet på langlevde gasser som fordeles seg jevnt i atmosfæren og gir tilnærmet samme globale klimaeffekt uavhengig av hvor utslippet finner sted. Disse analysene har som oftest beregnet klimaeffekten basert på globalt oppvarmingspotensial over en 100-årsperiode uavhengig av utslippsstedet, her kalt "GWP100, global". Eksempelvis ble denne vekt faktoren benyttet i den første forpliktelsesperioden av Kyotoprotokollen under UNFCCC og i Klimakur 2020 (Klif, 2010) som omfattet tiltak og virkemidler for å redusere Norges utslipp av klimagasser innen 2020.

Vårt formål er å analysere klimaeffekten av kortlevde klimadrivere på kort sikt. Vi har vurdert det slik at "GTP10, Norge", dvs. globalt temperaturendringspotensial beregnet over en tiårsperiode forutsatt at utslippene finner sted i Norge, er den mest hensiktsmessige vekt faktoren for å analysere tiltak for norske utslipp av kortlevde klimadrivere på kort sikt. Denne vekt faktoren gir et øyeblikksbilde av temperaturresponsen 10 år etter utslippet og reflekterer både den korte levetiden og det faktum at utslippene finner sted i Norge. Dette valget er nærmere forklart under.

2.2.1. Valg av beregningsmetodikk:

I henhold til et studium Cicero (Aamaas m. fl., 2012) har gjort på oppdrag for Miljødirektoratet, er de to mest anvendte og hensiktsmessige beregningsmetodikkene for å beregne klimaeffekt globalt oppvarmingspotensial (GWP) og globalt temperaturendringspotensial (GTP). Globalt oppvarmingspotensial (GWP) er basert på summen av klimapådrivet over en valgt tidsperiode mens Globalt temperaturendringspotensial (GTP) angir temperaturresponsen det siste året i perioden.

Dersom GWP anvendes på kortlevde klimadrivere vil det innebære at vi summerer opp klimaeffekten av utslipp som ikke lenger befinner seg i atmosfæren. GTP gir oss derimot et øyeblikksbilde av oppvarmings situasjonen i et gitt år, samtidig som påvirkningen utslippene har hatt på klimasystemet (for eksempel på dyphavene) mens de var i atmosfæren, blir ivare tatt i beregningen. Dette er skissert i figur 2.2a og figur 2.2b.



Figur 2.2: Skjematisk fremstilling av hvordan a) GTP og b) GWP beregnes etter et utslipp

Fordi vår analyse er fokusert på gasser og partikler med kort levetid i atmosfæren, vurderer vi det slik at klimaeffekten reflekteres best ved et øyeblikksbilde, dvs. ved å benytte GTP. For kortlevde klimadrivere vil klimaeffekten beregnet ved GTP alltid være lavere enn klimaeffekten beregnet ved GWP for samme tidsperiode.

En ulempe ved å benytte GTP er imidlertid at usikkerheten øker fordi beregningene inkluderer et estimat på hvordan klimapådrivet påvirker temperaturen. GTP er også mindre kjent og anvendt enn GWP.

2.2.2. Valg av tidsperiode

De kortlevde klimadriverne vi skal analysere, har en levetid under 15 år. Klimaeffekten av disse komponentene er kortvarig og avtar jo lenger vekk fra utslippstidspunktet vi beveger oss. Med utgangspunkt i den korte levetiden til svart karbon og ozon (dager-måneder), kunne man ha tenkt seg en tidshorisont på for eksempel fem år. Metan og de kortlevde HFK-ene har imidlertid lengre levetid (10-15 år). I tillegg er vektfaktorene beregnet i forhold til klimaeffekten av CO₂, og denne får først full effekt etter om lag 10 år. Etter en samlet vurdering har vi landet på en tidshorisont på 10 år for våre analyser.

2.2.3. Regionalitet

Klimaeffekten av kortlevde klimadrivere avhenger av hvor utslippene finner sted. For at vektfaktor-ene skal reflektere dette, har vi fått modellert klimaeffekten av offisielle norske utslipp geografisk fordelt over Norge for en rekke vektfaktorer (Hodnebrog m. fl., 2013). Alle vektfaktorer som er spesifikke for Norge, er merket med "Norge" i denne rapporten.

Vektfaktorene er basert på modellstudier. Beregning av klimaeffekt ved hjelp av vektfaktorer representerer en forenkling i forhold til å bruke modeller som eksplisitt inkluderer utslipp samt kjemiske og fysiske prosesser hver gang det skal foretas analyser og vurderinger av klimaeffekter.

En fare ved å benytte vektfaktorer for å sammenligne ulike klimadrivere er at det skapes et inntrykk av at det er det samme hvilken komponent som reduseres dersom den estimerte klimaeffekten i CO₂-ekvivalenter er den samme. Dette blir spesielt viktig å ha i mente når klimaeffekten av svart karbon, som bare oppholder seg noen dager i atmosfæren, tilsynelatende sidestilles med CO₂ og andre langlevde klimagasser ved hjelp av en vektfaktor som fokuserer på egenskapene til kortlevde klimadrivere. Ved bruk av "GTP10, Norge", vil utslippene bare være "ekvivalente" i forhold til

endring i temperatur over en tidsperiode på 10 år, forutsatt at utslippet finner sted i Norge. CO₂ og andre langlevde gasser har imidlertid mye lenger levetid i atmosfæren enn 10 år. De langsiktige virkningene de langlevde gassene har på klimasystemet, reflekteres dermed ikke av "GTP10, Norge". Dette gjelder for eksempel vedvarende oppvarming av atmosfæren med tilbakekoblinger grunnet bl.a. påvirkning på karbonsyklusen og temperaturen i dyphavene.

Det eksisterer således ikke én enkelt vektfaktor som beskriver klimaeffekten av både kortlevde og langlevde komponenter på en egnet måte.

2.3. Global klimaeffekt av norske utslipp

I dette arbeidet er klimaeffekt definert som global oppvarming eller avkjøling av atmosfæren.

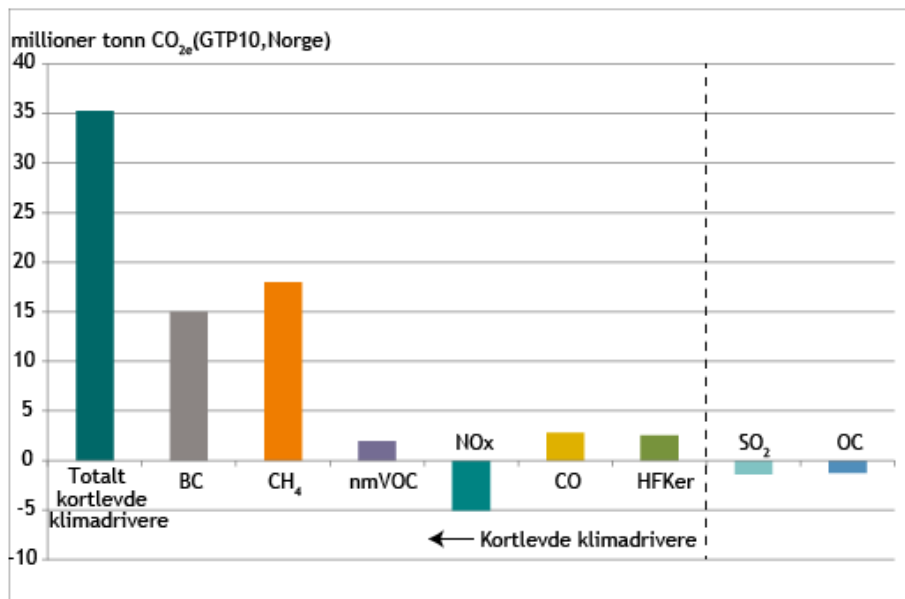
CICERO har på oppdrag fra Miljødirektoratet modellert den globale klimaeffekten av norske utslipp av BC og ozonforløperne CO, nmVOC og NO_x, samt nasjonale utslipp av OC og SO₂ ved en rekke vektfactorer (vedlegg 8). Modelleringen inkluderer ikke den effekten BC, OC og SO₂ har gjennom påvirkning på skydannelse og skyers egenskaper da kunnskapsgrunnlaget for dette var utilstrekkelig på modelleringstidspunktet. Vedlegg 11 omtaler usikkerheter forbundet med beregning av klimaeffekt.

I modelleringsarbeidet er Norge delt inn i fire utslippsregioner for å kunne vurdere regionale forskjeller (vedlegg 12; Hodnebrog, 2013). Nasjonale verdier for klimaeffekt målt i CO₂-ekvivalenter benevnes CO_{2e(GTP10, Norge)} i denne rapporten. Klimaeffekten av utslipp fra Norge har blitt beregnet ved å summere klimaeffekten vektet med utslipp i de fire regionene og dividert på de norske totalutslippene.

For metan, HFK-er og langlevde gasser som fordeler seg jevnt i atmosfæren, er norske vektfactorer identiske med globale vektfactorer og hentet fra IPCC (2007) og annen eksisterende litteratur.

Den globale klimaeffekten av norske utslipp uttrykt i CO₂-ekvivalenter beregnet ved vektfactoren (GTP10, Norge), CO_{2e(GTP10, Norge)}, er vist i Figur 2.3. Utslippene i CO_{2e(GTP10, Norge)} framkommer ved å multiplisere utslipp i tonn med komponentenes verdi for vektfactoren (GTP10, Norge) (Aamaas m. fl., 2013). Verdien for vektfactorene er gitt i vedlegg 8.

Figur 2.3 viser klimaeffekt av norske 2011-utslipp av kortlevde klimadrivere, samt OC og SO₂ som bidrar til avkjøling, i millioner tonn CO_{2e(GTP10, Norge)}.



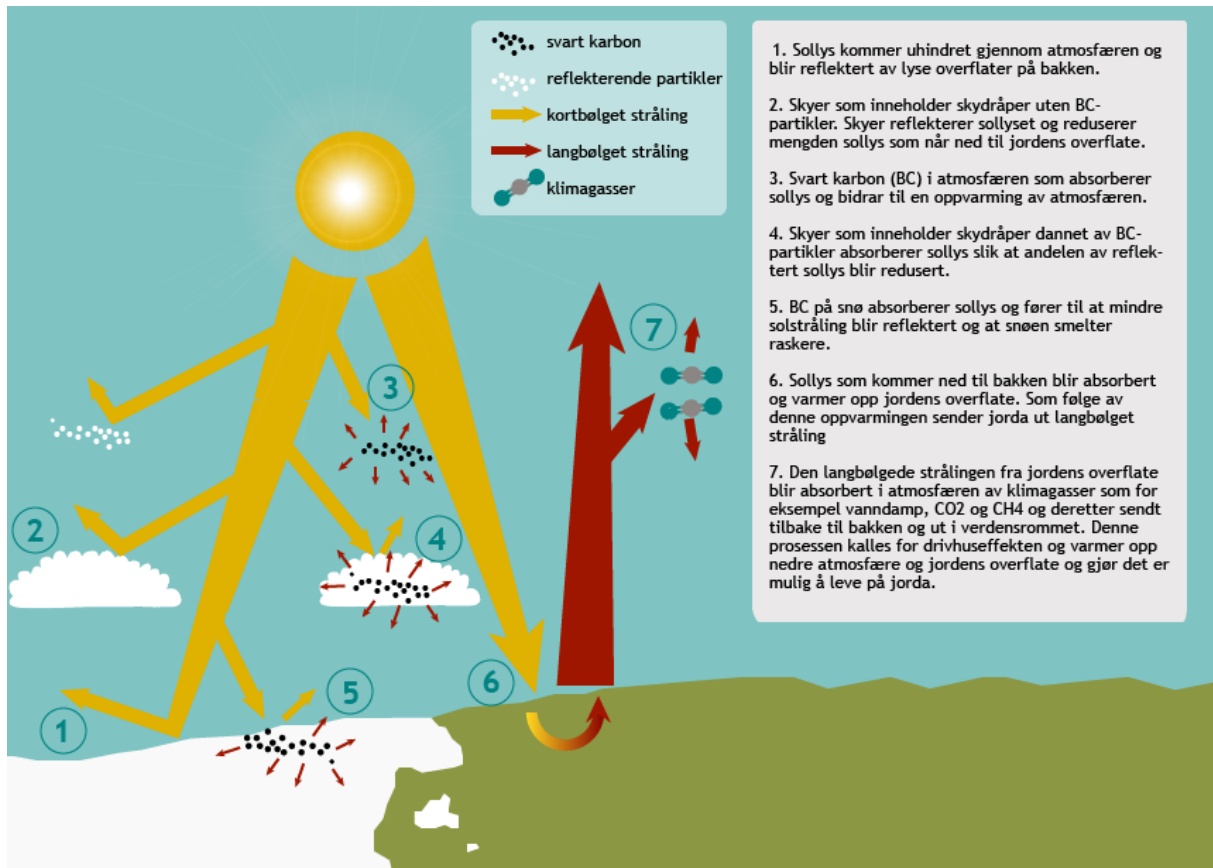
Figur 2.3: Figuren viser klimaeffekt i 2011 uttrykt i millioner tonn CO_{2e}(GTP10, Norge) for alle komponentene (Alle HFK-er er slått sammen.). Kilde: Klif/SSB (2013), SSB (2013)

Figur 2.3 viser at den samlede klimaeffekten av kortlevde klimadrivere var på 35 millioner tonn CO_{2e}(GTP10, Norge) i 2011. Den oppvarmende effekten av norske utslipp var størst for metan, dernest svart karbon, ozonforløperne CO og nmVOC og HFK-ene. Metan og BC har en vesentlig større klimaeffekt enn CO, nmVOC og HFK-ene. Ozonforløperen NO_x, samt OC og SO₂ har en avkjølede effekt på klima. Klimaeffekten av hver komponent er forklart mer detaljert under.

2.4. Svart karbon (BC)

Svart karbon er en viktig bidragsyter til global og regional oppvarming og bidrar til oppvarming av atmosfæren ved å absorbere sollys som består av kortbølget stråling (IPCC, 2007; Bond m.fl., 2013). Svart karbon kan i tillegg føre til oppvarming og avsmelting av snø og is når den legger seg på lyse flater ("albedoeffekten"). Jorda og eller havet som kommer til syne når snøen og isen har smeltet er mørkere og vil ta opp mer energi. Dette fører til at temperaturen i atmosfæren øker, og dette smelter enda mer is ("tilbakekoblingsmekanisme"). Utslipp av BC har også en indirekte klimaeffekt gjennom påvirkning på skydannelse og skyers egenskaper.

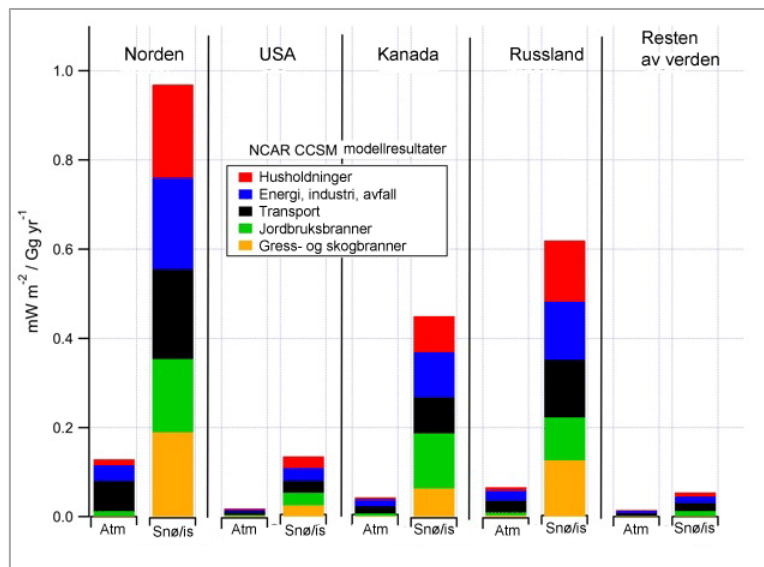
Disse tre klimaeffektene av BC er illustrert i Figur 2.4 under. I figuren er også klimaeffekten av BC sammenlignet med klimaeffekten av klimagasser som absorberer langbølget stråling fra jorda.



Figur 2.4: Illustrasjon av hvordan svart karbon og klimagasser påvirker jordas energibudsjett (Basert på EPA (2012))

BC er ikke jevnt fordelt i atmosfæren på grunn av sin korte levetid. Basert på to studier oppsummerer Bond m. fl. (2013) at den atmosfæriske effekten av BC kan endre GTP og GWP (kapittel 2.2) med ca. $\pm 30\%$ avhengig av hvor i verden utslippet skjer. Variasjonen i klimaeffekt mellom ulike regioner er mye større for albedoeffekten, med nær null effekt i tropene og opp til 60 % på høyere breddegrader. Den samlede effekten (av atmosfære og albedo) er mindre avhengig av hvor utslippet skjer fordi det er en viss kansellerings-effekt ved at den atmosfæriske effekten er størst der solinnstrålingen er størst, mens albedoeffekten er størst i de deler av verden som ligger i nærheten av snø- og isdekte områder.

En studie under Arktis Råd (Quinn m. fl., 2011), viser at ett kilotonn BC-utslipp fra de nordiske landene og andre arktiske land har større klimapådriv i Arktis enn utslipp andre steder i verden. Dette er vist i Figur 2.5. Klimapådriv er et mål for klimaeffekt (vedlegg 1).



Figur 2.5: Årlig klimapådriv ($\text{milliWatt}/\text{m}^2$) i Arktis ($60^\circ\text{N}-90^\circ\text{N}$) per enhet BC-utslipp ($\text{kilotonn}/\text{år}$). Kilde: Quinn m. fl. (2011)

Figur 2.5 viser to søyler for hver region. Søylen markert "Atm" viser bidraget til global oppvarming gjennom absorpsjon av sollys i atmosfæren, og søylen markert "Snø/is" viser bidraget som følge av avsetning på snø og is, den såkalte albedoeffekten. Figuren viser at klimapådrivet av utslipp av svart karbon er større jo nærmere Arktis utslippene finner sted fordi disse utslippene avsettes på snø og is i større grad enn utslipp fra andre steder i verden (høyere albedoeffekt). Per enhet har utslipp fra de nordiske landene høyest klimapådriv fordi våre utslipp skjer nærmest Arktis.

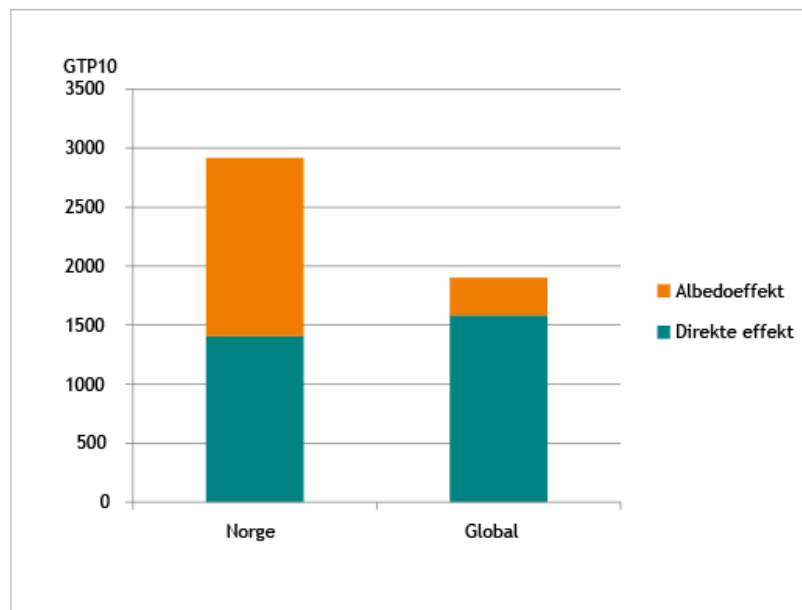
Det er i denne sammenheng viktig å understreke at den totale klimaeffekten fra et land eller region avhenger av størrelsen på utslippene. Utslippene av BC fra de nordiske landene er svært små sammenlignet med utslipp fra for eksempel Asia (Amann m. fl., 2013).

Utslipp fra Norge, Danmark, Finland og Sverige var i 2010 (2005 for Finland og Sverige, tall for 2010 var ikke tilgjengelig) totalt i størrelsesorden 25 000 tonn svart karbon (Arktisk råd, 2011; SSB, 2013). Til sammenligning var Kinas utslipp av BC 1 957 000 tonn i 2007 (Wang m. fl., 2012).

2.4.1. Global klimaeffekt av norske utslipp av svart karbon

Figur 2.3 viser at gitt som $\text{CO}_{2\text{e}}(\text{GTP10, Norge})$ er BC den kortlevde klimadriveren som etter metan bidrar mest til global klimaeffekt av norske utslipp (43 % i 2011). Bidraget er vesentlig høyere enn for ozonforløperne. Målt i tonn er norske BC-utslipp relativt små, men klimaeffekten er høy pga. den høye vekt faktoren (vedlegg 8).

Figur 2.6 viser vekt faktoren (klimaeffekt per enhet utslipp) for norske utslipp av svart karbon (GTP10, Norge) og for et globalt middel for resten av verden (GTP10, global). Vekt faktorene er delt inn i den direkte atmosfæriske effekten (grønn) og albedoeffekten på snø og is (oransje). Effekten som følge av svart karbons påvirkning på skyer og skydannelse, er ikke inkludert i vekt faktoren (vedlegg 11).



Figur 2.6: Klimaeffekt per utslippsenhet (vektfaktor) for svart karbon. Vekt faktoren er inndelt i bidrag fra direkte effekt (atmosfærisk absorpsjon) og albedoeffekt på snø og is. Kilde: Hodnebrog m. fl. (2013)

Figur 2.6 viser at utslipp av svart karbon i Norge har en relativt større klimaeffekt enn globale utslipp per vektenhet. Dette skyldes Norges nærhet til Arktis som gjør at mer av utslippene av svart karbon avsettes på snø og is og bidrar til oppvarming som følge av endret albedo. Den atmosfæriske effekten er mindre i Norge enn globalt fordi vi har mindre solinnstråling enn det globale middelet. Det er også mindre regionale forskjeller innenfor Norge (vedlegg 12).

Den totale klimaeffekten avhenger av størrelsen på utslippene og framkommer ikke av Figur 2.6.

2.5. Ozon (O₃)

Ozon bidrar til global oppvarming gjennom absorpsjon av langbølget stråling fra jorda. Ozon er ikke jevnt fordelt i atmosfæren på grunn av sin korte levetid. Ozonets effekt på klima avhenger av hvor og i hvilken høyde gassen befinner seg. Ozon har en oppvarmende virkning i den øvre troposfæren, mens bakkenær ozon, dvs. ozon i det nederste sjiktet av troposfæren (grenselaget, 0 - ca.1000 m over bakken), er lite vesentlig i et klimaperspektiv.

2.5.1. Global klimaeffekt av norske utslipp av ozonforløpere

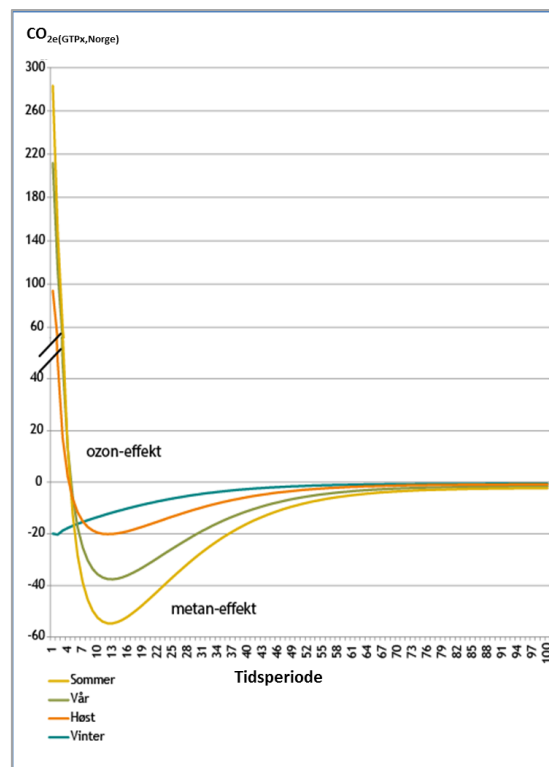
Ozonforløperne har klimaeffekt fordi de bidrar til ozondannelse og fordi forløperne blant annet påvirker metankonsentrasjonen i atmosfæren.

Den oppvarmende effekten av nmVOC og CO (Figur 2.3) skyldes både bidrag til ozonproduksjon og den oppvarmende effekten som nmVOC og CO har ved å bidra til å øke metankonsentrasjonen i atmosfæren.

Figur 2.3 viser at målt i CO_{2e}(GTP10, Norge) har norske NO_x-utslipp en avkjølende effekt (negativ verdi). Klimaeffekten er her beregnet 10 år etter utslippet. NO_x- utslipp fører i motsetning til utslipp av nmVOC og CO til en reduksjon i metankonsentrasjonen i atmosfæren. Utslipp av NO_x medfører

derfor oppvarming gjennom ozonproduksjon og avkjøling på grunn av reduksjon av metan. Samlet sett gir disse to effektene en avkjøling etter 10 år.

Hvorvidt NO_x utslipp medfører avkjøling eller oppvarming varierer over tid. Figur 2.7 viser klimaeffekt for norske NO_x -utslipp for tidshorisonter fra 1 til 100 år, dvs. GTP1-100, Norge.



Figur 2.7: Klimaeffekten i $\text{CO}_2\text{e}(\text{GTP}_x, \text{Norge})$ av NO_x -utslipp for tidsperioder fra $x=1$ til $x=100$ år for alle årstider. Kilde: Hodnebrog m. fl. (2013)

Figur 2.7 viser at for tidshorisonter under ca. 5 år, er effekten av NO_x -utslipp positiv for alle sesonger bortsett fra om vinteren. Dette skyldes bidraget til ozondannelse ("ozoneffekten"). På vinterstid er ozonproduksjonen mindre pga. lite tilgang på sollys. I løpet av noen få år blir den oppvarmende ozoneffekten kraftig redusert pga. den korte levetiden til ozon i atmosfæren.

Etter ca. 5 år er effekten av norske NO_x -utslipp negativ for alle sesonger. Dette skyldes at NO_x -utslipp gir flere hydroksylradikaler (OH) som igjen reduserer levetiden til metan.

Når den avkjølende effekten av å redusere metan ("metaneffekten") er større enn den raskt reduserende oppvarmingseffekten av økt ozonkonsentrasjon, blir nettoeffekten avkjøling (Figur 2.7).

Over tid blir "metaneffekten" redusert fordi det vil være mindre metan å bryte ned grunnet metans relativt korte levetid. På lang sikt går dermed klimaeffekten av norske NO_x -utslipp mot null.

2.6. Metan (CH_4)

Metan er en klimagass og absorberer langbølget stråling fra jorda. Metan har en levetid i atmosfæren på ca. 12 år. Levetiden er imidlertid lang nok til at gassen fordeler seg relativt jevnt i

atmosfæren over hele kloden. I tillegg til metans egenskap som kraftig klimadriver, bidrar også metan til dannelse av ozon.

2.6.1. Global klimaeffekt av norske metanutslipp

Figur 2.3 viser at norske metanutslipp har den største oppvarmende effekten av de kortlevde klimadriverne målt i $\text{CO}_{2e}(\text{GTP10, Norge})$ (51 % i 2011). Som forklart i 2.1 avhenger effekten i liten grad av hvor i verden utslippet finner sted.

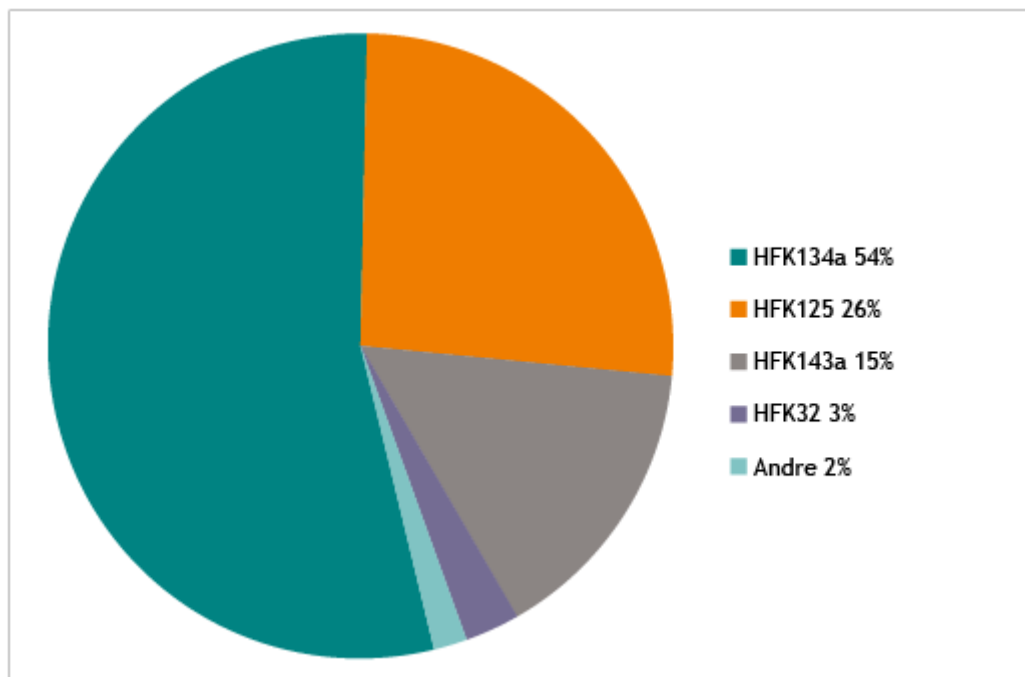
2.7. Hydrofluorkarboner (HFK-er)

De vanligste HFK-ene er moderat til sterke klimagasser. Forbindelsene har ulik levetid i atmosfæren, fra noen få år til flere hundre år (vedlegg 4, tabell V4.1). Levetiden for alle HFK-ene er imidlertid lang nok til at det har minimal betydning hvor i verden utslippet skjer.

2.7.1. Global klimaeffekt av norske HFK-utslipp

Figur 2.3 viser at målt i $\text{CO}_{2e}(\text{GTP10, Norge})$ har norske HFK-utslipp en oppvarmende effekt som er vesentlig mindre enn effekten av metan og BC. Totalt bidrar HFK med 7 % av totale utslipp av kortlevde klimadrivere i Norge målt i $\text{CO}_{2e}(\text{GTP10, Norge})$.

Vektfaktor varierer mye for de ulike HFK-ene (vedlegg 8). De ulike HFK-enes bidrag til den totale klimaeffekten av HFK-ene er vist i Figur 2.8 under.



Figur 2.8: Fordeling av klimaeffekt av de enkelte HFK-er i 2011 i $\text{CO}_{2e}(\text{GTP10, Norge})$. Kilde: Klif (2013b)

Figur 2.8 viser at HFK-134a (kortlevd) har størst effekt og bidrar med mer enn halvparten av den totale effekten av HFK-gassene. HFK-125 (langlevd) og HFK-143a (langlevd) bidrar med henholdsvis 26 % og 15 % av den totale klimaeffekten av norske HFK-utslipp. De resterende HFK-gassene bidrar totalt med 5 % av klimaeffekten av HFK-er.

HFK-134a, HFK-125, HFK-143a, samt HFK-32 (kortlevd) benyttes som kuldemedium (både som enkeltgasser og i blandinger). Gassene bidrar totalt med 98 % av klimaeffekten fra HFK-er i Norge og er fokus for tiltaksanalysen (se del II).

2.8. Betydning av organisk karbon (OC) og svoveldioksid (SO₂)

Forbrenningsprosesser som gir utslipp av BC, gir også utslipp av organisk karbon (OC). Noen prosesser kan også gi utslipp av svoveldioksid (SO₂). Tiltak på kortlevde klimadrivere som reduserer BC-utslipp, vil dermed også kunne redusere utslipp av OC og SO₂.

Organisk karbon, som er den reflekterende andelen av fine partikler (PM_{2,5}), og sulfatpartiklene som dannes fra svoveldioksid, sprer sollyset. Den atmosfæriske klimaeffekten av OC- og SO₂-utslipp er dermed avkjølede. Albedoeffekten av komponentene er neglisjerbar.

Som vist i Figur 2.3, er den avkjølede effekten av utslipp av organisk karbon målt i CO_{2e}(GTP10, Norge) noe mindre enn for SO₂-utslipp. Summen av det nasjonale bidraget fra de avkjølede komponentene er i størrelsesorden like stort som den oppvarmende effekten av CO, nmVOC eller HFK, men vesentlig mindre enn for metan og BC.

Ved vurdering av tiltak er det viktig å ta hensyn til hvordan både oppvarmende og avkjølede komponenter påvirkes av tiltaket slik at klimagevinsten av tiltaket ikke overvurderes.

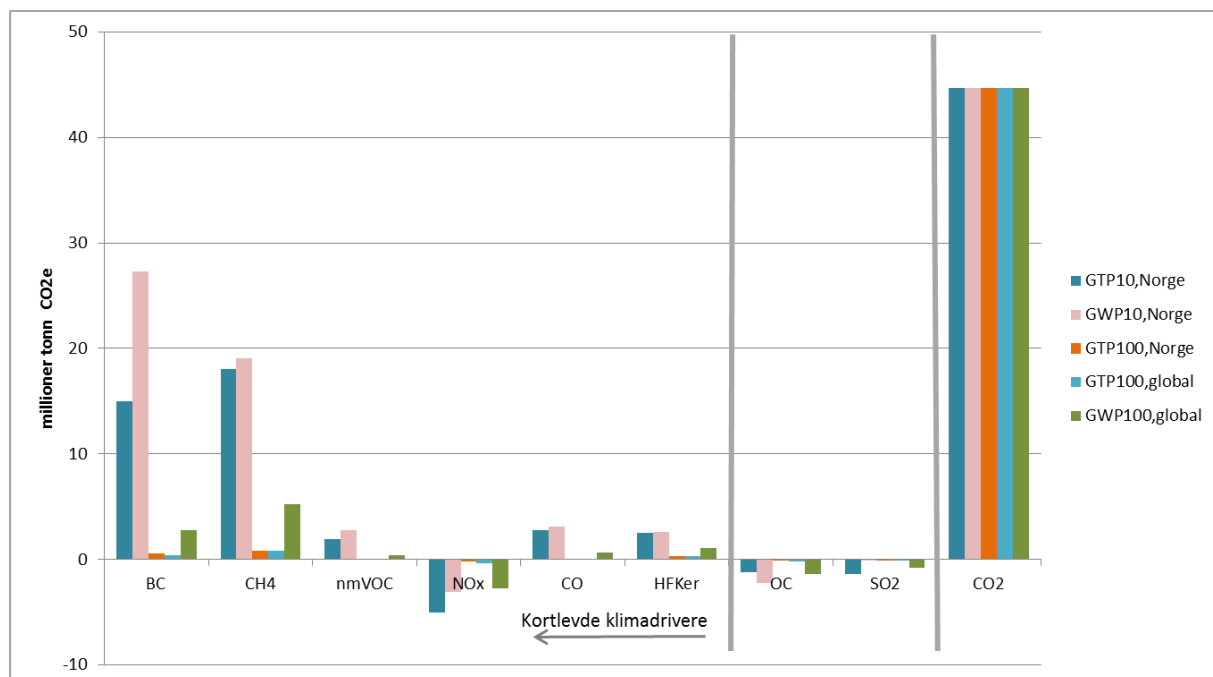
Utslipp av partikler består av ulike andeler BC og OC avhengig av utslippskilden. Ved utarbeidelse av klimatiltak er det viktig å fokusere på utslipp hvor BC-andelen er høy. Partikler fra mobile diesel-motorer består for eksempel typisk av 60-70 % BC mens partikkelutslipp fra forbrenning av biomasse, som vedfyring, domineres av organisk karbon (SSB, 2013).

Klimagevinsten av BC-tiltak blir dessuten mindre gunstig og potensielt negativ i et 100-års-perspektiv. Dette skyldes at klimaeffekten også avhenger av størrelsen på de respektive vektfaktorene. For BC-tiltak rettet på en kilde med en høy andel av OC, som eksempelvis utslipp fra vedfyring, vil mengden OC reduseres mye mer enn mengden BC. For at tiltaket skal ha en positiv klimaeffekt må derfor vektfactoren for BC være mye større enn vektfactoren for OC. Dette er ikke tilfelle ved lengre tidshorisonter. Over tid reduseres størrelsen på vektfactoren til BC (fra 2914 til 118) mye mer enn hva tilfelle er for OC (fra -62 til -2) (vedlegg 8).

Utslipp fra skipstrafikk inneholder større mengder svovel fra forbrenning av marint drivstoff. Utslippskutt i transportsektoren på land vil dermed per enhet ha større klimagevinst enn utslippskutt i skipstrafikken.

2.9. Vektfactorens betydning for klimaeffekten

Figur 2.9 under viser den globale klimaeffekten av norske 2011-utslipp ved fire utvalgte vektfactorer (vedlegg 8).



Figur 2.9: Norske 2011-utslipp av kortlevde klimadrivere, OC, SO₂ og CO₂ omregnet med ulike vekt faktorer. Kilde: Klif/SSB (2013), SSB (2013), Hodnebrog m. fl. (2013)

Et utslipp av CO₂ er uavhengig av valg av vekt faktor fordi alle vekt faktorene er beregnet i forhold til CO₂. Vekt faktorene er derfor per definisjon 1 for alle typer vekt faktorer. Verdien for klima effekten for CO₂ i Figur 2.9 er således identisk med mengden CO₂ som ble sluppet ut i 2011. For de andre komponentene ser vi at klima effekten i GTP er lavere enn klima effekten uttrykt ved GWP for samme tidsperiode og region (mørk blå/rosa og lys blå/grønne søyler). Som beskrevet i Kapittel 2.2 skyldes dette at GTP gir et øyeblikksbilde av klima effekten mens GWP gir summen over tidshorisonen.

Vi ser også at valg av tidsperiode (mørkeblå søyler sammenlignet med oransje søyler) har større betydning for klima effekten enn valg av beregningsmetodikk (eksempelvis mørkeblå søyler sammenlignet med rosa søyler). Valg av lengre tidsperiode reduserer klima effekten av de kortlevde klimadriverne. Etter 100 år er effekten begrenset.

2.10. Referansebane for tiltaksutredninger

Ved utredning av tiltak beskrives tiltakenes reduksjonspotensial i forhold til den utslippsutviklingen vi forventer basert på vedtatt politikk, en såkalt referansebane.

Vi har tidligere understreket at det er viktig å beregne den samlede klima effekten av et tiltak (for eksempel kapittel 2.8). Det betyr at det må tas hensyn til den oppvarmende effekten av de kortlevde klimadriverne, alle langlevde klimagasser (som eksempelvis CO₂) og de avkjølende komponenter som påvirkes av et tiltak. I dette tilfellet betyr dette at referansebanen må inneholde utslipp av kortlevde klimadriverne, OC, SO₂, og de langlevde klimagassene CO₂ og N₂O. I tillegg har vi tatt inn SF₆ og PFK-er for å kunne vurdere reduksjoner av de kortlevde klimadriverne i forhold til alle norske utslipp av komponenter med klima effekt.

For bedre å forstå hvordan referansebanen er bygget opp, viser vi først nasjonale utslipp av hver enkelt komponent i referansebanen i millioner tonn i Figur 2.10a. Utslippsutviklingen for de kortlevde klimadriverne, OC og SO₂ er forklart i kapitlene 1.1-1.6 og i Vedlegg 4. Utviklingen for CO₂, N₂O, SF₆ og PFK tilsvarer framskrivningene i Perspektivmeldingen (FIN, 2013) fra februar 2013. Metode for beregning av utslippsestimater og framskrivninger er videre beskrevet i vedlegg 6.

Ved å multiplisere utslippene med deres respektive verdier for vekt faktoren GTP10, Norge (kapittel 2.2) får vi klimaeffekten av utslippene som vist i Figur 2.10b. Ved omregning til CO₂-ekvivalenter ser vi at betydningen av svart karbon relativt til de andre komponentene øker kraftig fra om lag 5000 tonn (Figur 2.10a) til 15 millioner tonn CO_{2e(GTP10, Norge)}

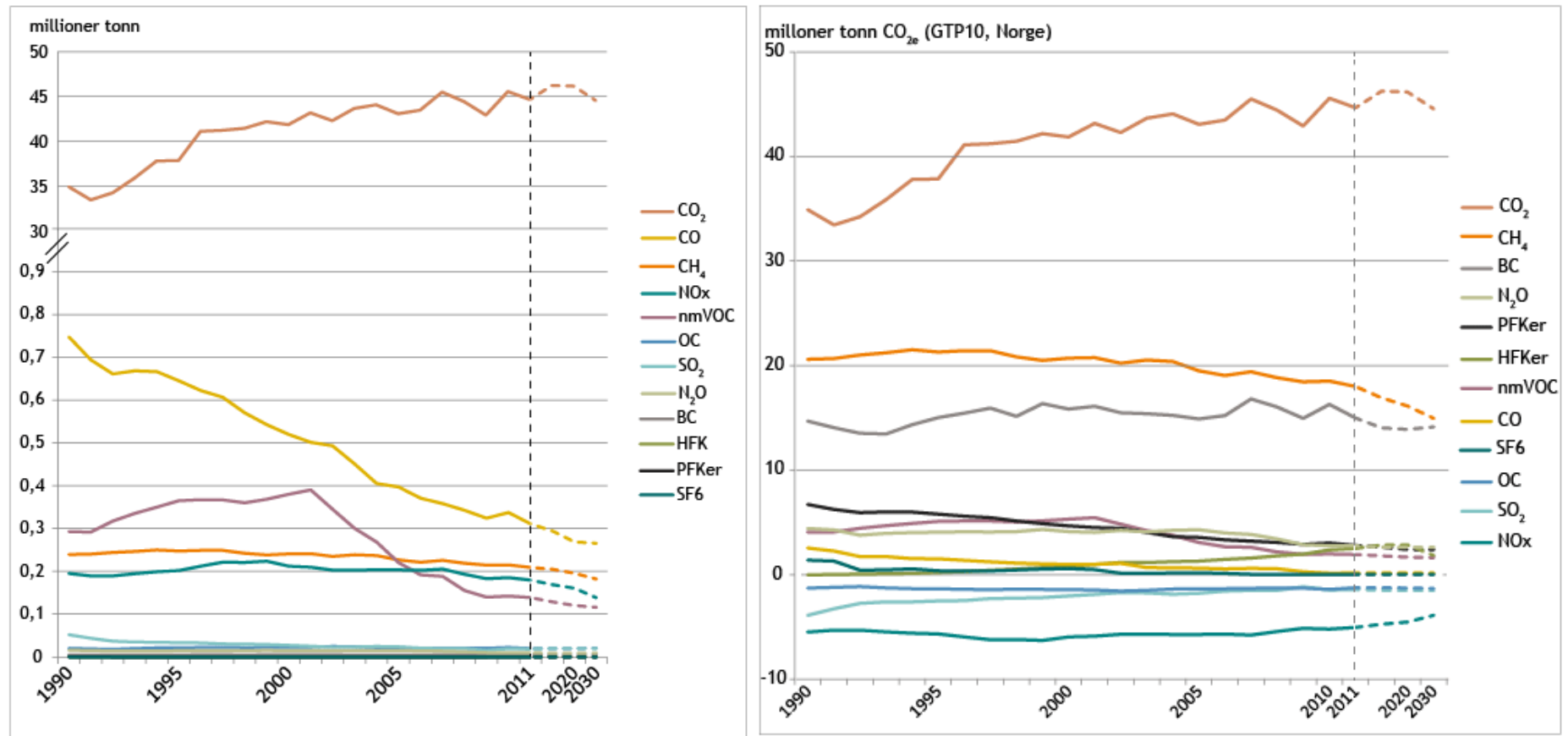
Figur 2.11b) på grunn av en relativt høy vekt faktor på 2914 (vedlegg 8). Tilsvarende øker betydningen av metan mye, slik at de viktigste bidragsyterne på kort sikt er CO₂, metan og svart karbon (i prioritert rekkefølge). Figur 2.10b viser også at ozonforløperen NO_x samt OC og SO₂ har negative verdier i CO_{2e(GTP10, Norge)} fordi disse tre komponentene har en avkjølede effekt på klima.

Referansebanen vi benytter i handlingsplanen er summen av klimaeffekten for alle utslippene vist i Figur 2.10b. Denne referansebanen er vist i

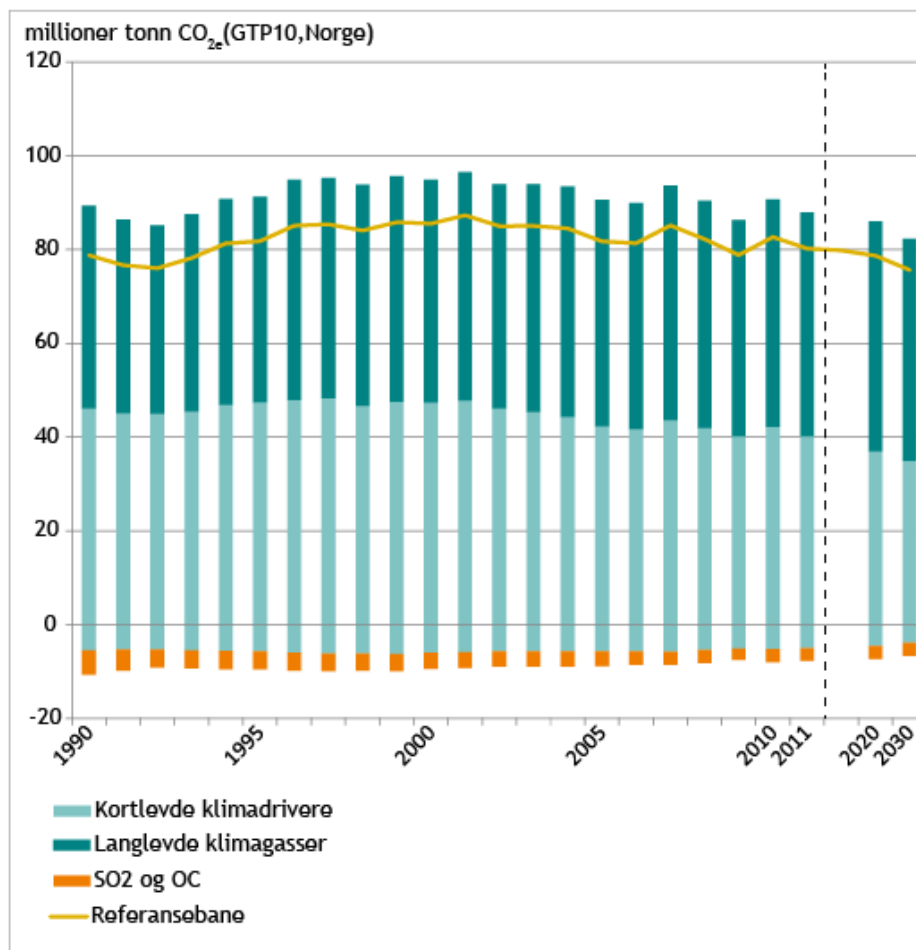
Figur 2.11. Referansebanen i CO_{2e(GTP10, Norge)} er angitt ved en gul linje. Referansebanen er bygd opp som følger:

- Lyse søyler: Nasjonale utslipp av de kortlevde klimadriverne (BC, ozonforløperne CO, nmVOC, NO_x, CH₄ og alle HFK-er)
- Oransje søyler: Nasjonale utslipp av OC og SO₂, hvorav en andel stammer fra kilder (vedfyring, dieselmotorer, etc.) som også gir utslipp av BC
- Mørkegrønne søyler: Nasjonale utslipp av de langlevde gassene CO₂, N₂O, SF₆ og PFK-er.

PM₁₀ og PM_{2,5} reduseres også gjennom tiltakene, men er ikke inkludert i referansebanen fordi de ikke er antatt å ha en klimaeffekt utover den klimaeffekten som er representert ved BC og OC.



Figur 2.10: a) Nasjonale utslipp av alle komponenter i referansebanen (til venstre) og b) i CO_{2e}(GTP10, Norge) (til høyre) Kilder: Klif/SSB (2013), SSB (2013), FIN (2013)



Figur 2.11: Oppbygning av referansebane. Viser bidrag fra kortlevde klimadrivere, langlevde klimagasser og OC, SO_2 som begge gir avkjøling. Referansebanen (gul linje) er summen av disse. Kilder: Klif/SSB (2013), SSB (2013), FIN (2013)

Figur 2.11 viser at utslippene forventes å gå noe ned framover, primært på grunn av reduksjon i utslippene av kortlevde klimadrivere. Den forventede reduksjonen av kortlevde klimadrivere skyldes i prioritert rekkefølge bl.a. reduksjoner i CH_4 , HFK-er og CO, som følge av allerede vedtatt politikk (Figur 2.10a og b og vedlegg 4). HFK-ene har et lite bidrag i tonn, men vekt faktoren er høy slik at en mindre endring i HFK-utslipp gir en større endring i $CO_{2e(GTP10, Norge)}$. Utslipp av svart karbon forventes ikke å gå ned.

Figuren viser også et negativt bidrag fra kortlevde klimadriverne (lysegrønne søyler under null). Dette er det avkjølede bidraget som ozonforløperen NO_x har etter 10 år som følge av nedbrytning av metan (kapittel 2.5). Dette avkjølede bidraget forventes å gå noe ned bl.a. pga. avgasskrav til kjøretøy.

Det avkjølede bidraget fra utslippene av OC og SO_2 er vist under null (oransje søyler) og forventes å forbli relativt uendret fram til 2030.

Figuren viser også at utslippene av de langlevde klimagassene (CO_2 , N_2O , SF_6 og PFK) er svært viktig også i et tiårsperspektiv (mørkegrønne søyler). I både 2020 og 2030 forventes summen av de langlevde gassene å være større enn klimaeffekten av de kortlevde klimadriverne målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP}10, \text{Norge})}$.

På samme måte som tiltak på kortlevde klimadrivere også kan gi utslippsreduksjoner av langlevde klimagasser, vil tiltak rettet på langlevde klimagasser også kunne ha effekt på kortlevde klimadrivere og OC og/eller SO_2 ettersom eksempelvis utslipp fra forbrenningsprosesser gir utslipp av alle typer komponenter. Dersom den samlede klimaeffekten legges til grunn for analyser rettet på langlevde klimagasser, bør en slik helhetlig referansebane også benyttes, men valg av vektfaktor vil avhenge av analysens formål (kapittel 2.2).

2.11. Helse- og miljøeffekt av kortlevde klimadrivere

De kortlevde klimadriverne bidrar også til lokal og regional luftforurensning og har skadelige effekter på helse og miljø. Disse skadelige effektene er primært forbundet med BC, ozon og NO_x (hvor NO_2 anses som den helseskadelige komponenten).

I dette arbeidet er helseeffekt definert som påvirkning på befolkningens helse forårsaket av gitte konsentrasjoner av én eller flere forurensningskomponenter. Miljøeffekt er definert som påvirkning på avling og skog forårsaket av gitte konsentrasjoner av én eller flere forurensningskomponenter.

UNEP/WMO (2011) viser at på globalt nivå kan reduksjon av kortlevde klimadrivere redusere 2,4 (0,7-4,6) millioner premature dødsfall årlig fra 2030 og framover pga. BC og 0,04-0,52 millioner pga. ozon, og avlingstap av hvete, ris, mais og soya med 52 (30-140) millioner tonn årlig, eller ca. 1-4 % av verdensproduksjonen av disse matvarene etter 2030 når et sett tiltak er implementert. Reduksjonen i antall premature dødsfall årlig er på linje med tall fra Anenberg m. fl. (2012), og skyldes hovedsakelig tiltak rettet mot partikler som BC er en delmengde av.

I Norge er helseeffekter av luftforurensning et lokalt problem med særlig negativt utslag i de største byene. Av de norske utslippene av kortlevde klimadrivere, er negative helseeffekter særlig assosiert med utslipp av svart karbon (partikler) og NO_x . Utslipp fra veitrafikken lokalt dominerer de helseskadelige konsentrasjonene av partikler og NO_2 . Det forekommer også konsentrasjoner av bakkenær ozon i Norge som kan ha negativ helseeffekt, men konsentrasjonene er relativt lave sammenlignet med andre europeiske land (EEA, 2013). Det er langtransportert luftforurensning som dominerer bidraget til ozonkonsentrasjonene i Norge.

Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet har utarbeidet luftkvalitetskriterier som beskriver hvilke nivåer av luftforurensningskomponenter som ikke gir helseeffekter i befolkningen. Luftkvalitetskriteriene skal også verne om de mest sårbare gruppene (barn, eldre, syke) (Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet, 2013). Det finnes også juridisk bindende grenseverdier hjemlet i forurensningsforskriften. Disse er høyere enn luftkvalitetskriteriene. Sårbare grupper kan derfor oppleve helseeffekter ved eksponering for nivåer som ligger under grenseverdien.

Miljøeffekten av de kortlevde komponentene knyttes hovedsakelig til ozon, samt at ozonforløperen NO_x har miljøeffekt i seg selv i form av bidrag til forurensning. Miljøeffektene har et mer regionalt preg enn helseeffektene. Langtransportert forurensning dominerer bidraget til atmosfæriske konsentrasjoner i Norge.

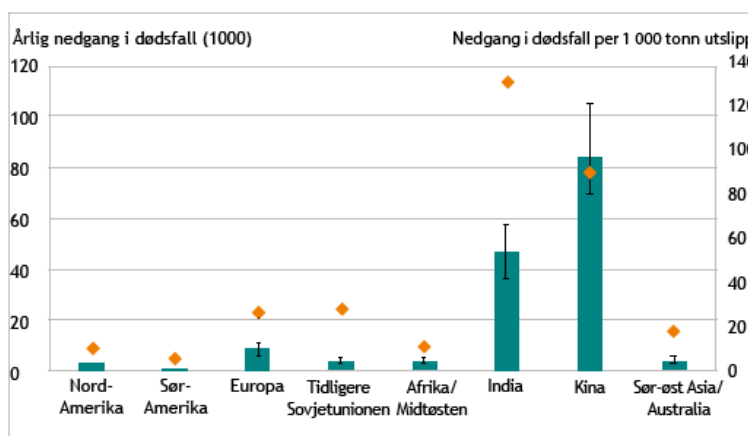
2.11.1. Svart karbon (BC)

Befolkningsstudier både for korttids- og langtidseksponering for svart karbon viser effekter på menneskers helse. Man har sett effekter både på hjerte-, kar- og lungesykdommer. Videre er det funnet en sammenheng mellom svart karbon og dødelighet av disse sykdommene (WHO, 2012).

Svart karbon er for mange utslippskilder en viktig bestanddel av $PM_{2,5}$ som igjen inngår i PM_{10} . Både finfraksjonen av partikler ($PM_{2,5}$) og grovfraksjonen ($PM_{10}-PM_{2,5}$) er assosiert med helseeffekter, men det er spesielt finfraksjonen man internasjonalt har størst bekymring rundt (Lim m. fl., 2012).

Eksponering for $PM_{2,5}$ er en av verdens ti største risikofaktorer for sykdomsutvikling (Lim m. fl., 2012). I befolkningsstudier er det vist samsvar mellom effekter av $PM_{2,5}$ og svart karbon. Nyere studier foreslår at svart karbon kan være en god indikator for helseskadelige effekter, særlig fra trafikkutslipp, og anbefaler målinger av svart karbon i tillegg til $PM_{2,5}$ og PM_{10} (Janssen m. fl., 2011; WHO, 2012; WHO/EU, 2013). Det finnes få studier hvor de toksikologiske effektene av svart karbon og $PM_{2,5}$ sammenlignes, men de studiene som foreligger tyder på at svart karbon uttrykt som EC (se Kapittel 1.1.1 for sammenheng mellom BC og EC) i seg selv ikke gir noen toksikologiske effekter, men at effektene kan tilskrives ulike organiske forbindelser eller metaller bundet til svart karbon.

Det finnes ikke tilstrekkelige målinger eller studier for å kunne definere kritiske nivå for eksponering av svart karbon. Befolkningsstudier for svart karbon baserer seg både på EC, BC og sot. En studie som spesifikt fokuserte på helseeffekten av svart karbon (Anenberg m. fl., 2011) konkluderte med at helseeffekten av BC var knyttet til det stedet der utslippsreduksjonene fant sted. Studiet demonstrerte videre at effekten av å halvere BC-utslippene hadde mye større effekt i noen regioner framfor andre. Figur 2.11 viser at ved å halvere BC-utslippene går antall premature dødsfall mest ned i Kina, etterfulgt av India og Europa. I Europa kan i følge denne studien ca. 10 000 premature dødsfall unngås hvert år dersom utslippene halveres (Figur 2.12, grønne søyler, venstre akse). Nedgangen i dødelighet per kilotonn BC-utslipp redusert gir et mål på sårbarhet for utslippsendringer, og ble av Anenberg m. fl. (2011) estimert til å være 50 % større for India enn for Kina (Figur 2.12, Oransje diamanter, høyre akse). Det vil sannsynligvis si at utslippsendringer i Kina har mindre effekt på konsentrasjonsnivåene og fordi dødelighetsratene er høyere i India. Figur 2.12 viser at effekten av å redusere ett tonn utslipp er relativt stor også for Europa (oransje diamanter). Per kilotonn reduserte BC utslipp estimerte Anenberg m. fl. (2011) at ca. 20 000 premature dødsfall i året kunne unngås i Europa.



Figur 2.12: Sammenheng mellom global dødelighet og reduksjon av BC-utslipp ved halvering av antropogene BC-utslipp i hver region. Figuren viser årlig reduksjon i antall 1000 premature dødsfall relatert til lungekreft og hjerte- og lungesykdommer for ulike regioner (i tusen, grønne søyler,

venstre akse), og reduksjon i premature dødsfall per 1 000 tonn redusert BC utslipp (i tusen, oransje diamanter, høyre akse). Kilde: Basert på Anenberg m. fl. (2011)

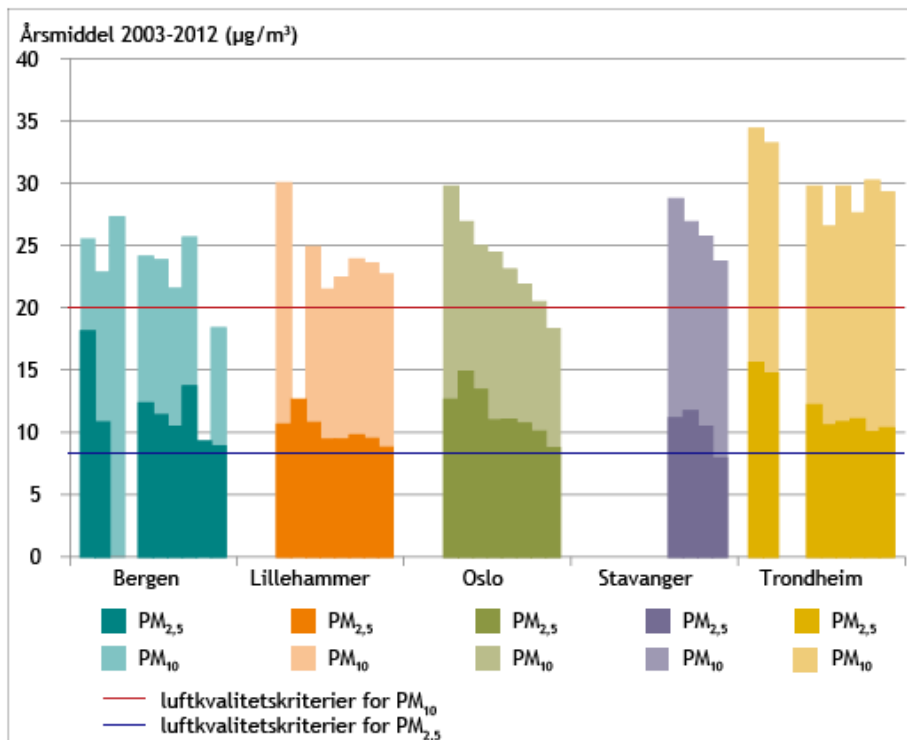
Helseeffekt av svart karbon (BC) i Norge

Det finnes lite tilgjengelig informasjon om helseeffekter av svart karbon i Norge. BC overvåkes ikke med hensyn til lokal luftforurensning per i dag. Det er så langt ikke utarbeidet luftkvalitetskriterier eller grenseverdier for svart karbon, selv om det er økende kunnskap om helseeffekter knyttet til eksponering. Det er heller ikke utarbeidet verdsettelsesfaktorer for helseeffekter av norske utslipp av svart karbon.

PM_{2,5}-konsentrasjoner overvåkes imidlertid i syv norske byer. I ytterligere seks byer (totalt 13) måles også PM₁₀-konsentrasjonene. Både PM_{2,5} og PM₁₀ inneholder BC. Dataene for PM-konsentrasjoner er basert på målinger langs de mest trafikkerte veiene i hver by, samt noen målinger i bybakgrunn. Målingene i bybakgrunn viser generelt lavere konsentrasjoner enn målingene ved vei, men de er representative for et større område av byen. Målingene i bybakgrunn gir derfor mer informasjon om hvilke forurensningsnivåer store deler av bybefolkningen eksponeres for.

Basert på ulike kriterier er det etablert forskjellige mål på om luftkvaliteten er god nok. Luftkvalitetskriteriene er de strengeste og er relatert til at det ikke skal forekomme helseeffekter dersom konsentrasjonene ligger under disse kriteriene. Grenseverdier for ulike typer av forurensning er juridisk bindende i den forstand at for eksempel veieiere er pliktig til å redusere utslippene hvis disse ligger over de fastsatte grenseverdiene. Disse verdiene er identiske med grenseverdier fastsatt gjennom EUs luftkvalitetsdirektiv (EC, 2008).

Figur 2.13 viser årsmiddelkonsentrasjonen av PM₁₀ og PM_{2,5} i de fem største norske byene. Rød linje angir luftkvalitetskriterium for PM₁₀ (20 µg/m³) og blå linje angir luftkvalitetskriterium for PM_{2,5} (8 µg/m³). Årsmiddel beskriver den gjennomsnittlige konsentrasjonen i løpet av ett år og er egnet for å beskrive helseeffekter ved langtidseksponering (vedvarende konsentrasjoner).



Figur 2.13: Årsmiddelkonsentrasjonen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av PM_{10} og $\text{PM}_{2,5}$ ved utvalgte målestasjoner i norske byer for årene 2003-2012. Noe data mangler på grunn av for lav datafangst.

Kilde: Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet (2013)

Figur 2.13 viser at årsmiddelkonsentrasjonene har blitt redusert de siste ti årene, men er fortsatt over luftkvalitetskriteriene i flere byer. Konsentrasjonen av PM_{10} er høyest i Trondheim. Den juridisk bindende grenseverdien for årsmiddelkonsentrasjonen i forurensningsforskriften ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$) overskrides ikke. Figuren viser også at $\text{PM}_{2,5}$ bidrar til rundt 50 % av årsmiddelkonsentrasjonen for PM_{10} i de fleste av de norske byene vist i Figur 2.13. Grenseverdien for $\text{PM}_{2,5}$ er først gjeldende fra 2015, den er $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ og reduseres til $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2020.

Partikler kan også føre til helseeffekter i befolkningen ved eksponering for høyere nivåer i korte perioder (døgn eller timer). I Norge kan det være dager med spesielt høye nivåer av PM i perioden oktober-mai. Grenseverdier hjemlet i forskriften og luftkvalitetskriterier relateres derfor også til døgnmiddelnivåer av PM, og flere norske byer måler døgnmiddel-konsentrasjonen for å sikre at disse grensene overholdes. Grenseverdien for døgnmiddel (maksimalt 35 overskridelser av $50\mu\text{g}/\text{m}^3$) overskrides i enkelte byer, og jevnlig i Trondheim. Her har grenseverdien for døgnmiddel PM_{10} blitt brutt i alle år utenom 2008.

Miljøeffekter av BC i Norge

Det er ingen kjente miljøeffekter av svart karbon i Norge.

2.11.2. Ozon (O_3)

Høye konsentrasjoner av bakkenær ozon, dvs. ozon i det nederste sjiktet av troposfæren, kan være et helseproblem. En betydelig del av ozonet tas opp i øvre luftveier, men vil også kunne trenge dypere ned i luftveiene, spesielt ved høy fysisk aktivitet. Eksponering for ozon kan gi oksidative

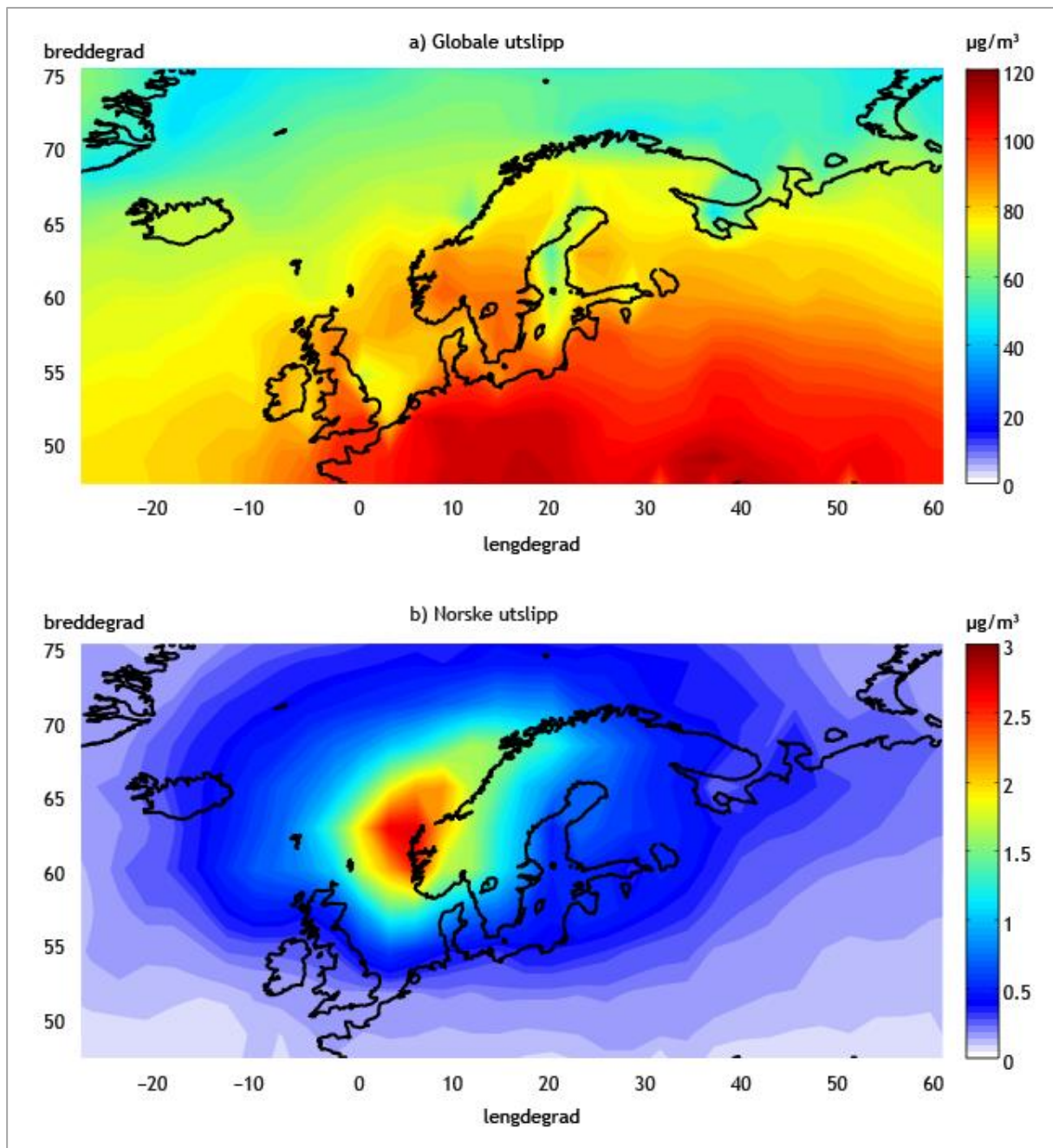
skader i lungevevet og betennelse i lungene. Dette er vist å føre til økt sykkelighet og dødelighet. Astmatikere har økt følsomhet for ozon, og astmatiske barn kan få symptomer ved eksponering for konsentrasjoner fra 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (timesmiddel), og lavere konsentrasjoner ved lengre tids eksponering.

Et studium fra 2012 viser at full implementering av et sett av 14 tiltak årlig kan redusere antall ozon-relaterte premature dødsfall globalt med 40 000 - 520 000 i 2030 basert på to modeller. Beste estimat for den ene modellen er 120 000 og for den andre 310 000 (Anenberg m. fl., 2012).

Ozon skader en rekke prosesser i planter. Blant annet reduseres fotosyntesen og veksten, og aldring og bladfelling framskyndes.

Ozonnivåene i Norge domineres av langtransportert forurensning. På sommerstid bidrar norske utslipp av ozonforløperne til 3-5 % av de maksimale ozonnivåene (figur 2.13). Den norske ozonproduksjonen stammer hovedsakelig fra NO_x -utslipp fra olje- og gassproduksjon utenfor kysten av Vestlandet. På vinterstid er det for lite sollys til å omdanne norske utslipp av ozonforløpere til ozon i vesentlig grad. Tilgjengelig NO bryter ned det langtransporterte ozonet og danner NO_2 slik at det norske bidraget til ozonnivåene er negativt. På vinterstid vil helseeffektene derfor primært være knyttet til NO_2 .

Ozonproduksjonen på sommerstid er illustrert i Figur 2.14 under. Figuren viser beregnet midlet døgnmaksimumskonsentrasjon (maksimalt timesmiddel i løpet av et døgn) av bakkenær ozon over sommermånedene juni, juli og august (JJA). Beregningene er gjort av Cicero på oppdrag fra Miljødirektoratet (Hodnebrog m. fl., 2013). Figur 2.14a) viser konsentrasjonen av bakkenær ozon, inklusive effekten av alle globale utslipp av samtlige ozonforløpere, mens Figur 2.14b) viser bidraget fra norske utslipp av ozonforløpere.



Figur 2.14: a) Midlet døgnmaksimumskonsentrasjon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) over sommersesongen (JJA) av bakkenær ozon, hvor effekten av alle globale utslipp er inkludert, og b) endringen i bakkenær ozon som følge av utslipp av NO_x , nmVOC og CO i Norge. Kilde: Hodnebrog m. fl. (2013)

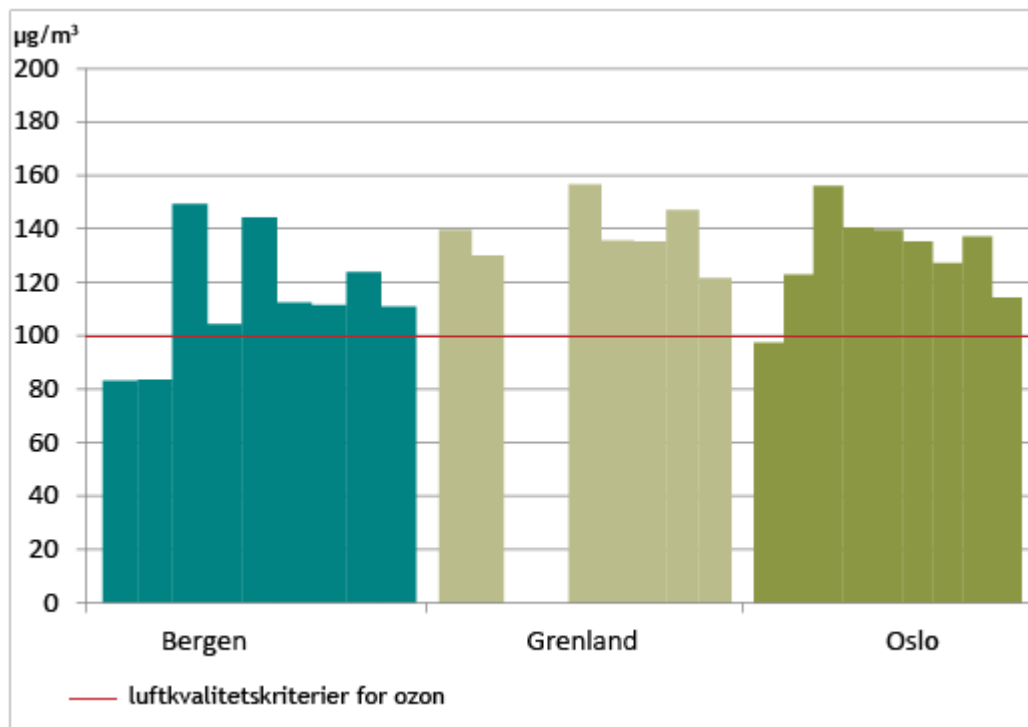
Figur 2.14a viser at de midlete maksimumsnivåene av bakkenær ozon over Norge om sommeren varierer fra omtrent $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ lengst nord til omtrent $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ over Sør-Norge. Dette stemmer godt overens med tilgjengelig måledata fra *Statlig program for overvåkning* (kapittel 2.13).

Figur 2.14b viser at maksimalt $2-3\mu\text{g}/\text{m}^3$ av de midlete maksimumsnivåene av bakkenær ozon om sommeren kan tilskrives norske utslipp av ozonforløpere. Dette bidraget skjer lokalt utenfor kysten av Vestlandet og skyldes høye utslipp av NO_x offshore.

Helseeffekter av O₃ i Norge

Ozonnivåene i Norge kan gi helseeffekter i befolkningen. Ozon overvåkes i Norge både regionalt og lokalt i Oslo (stasjonen står i Bærum), Bergen og i Grenland. Lokal overvåkning utløses av krav i Forurensningsforskriftens kapittel 7. For bakkenær ozon er det ikke grenseverdier, men tidfestede og langsiktige mål. Luftkvalitetskriteriene for bakkenær ozon (100 µg/m³) har som vist i Figur 2.15, i de senere år blitt overskredet hvert år i alle byene hvor målinger finner sted.

Figur 2.15 viser maksimal timesmiddelkonsentrasjon av bakkenær ozon i årene 2004-2012 i byområdene Bergen, Grenland og Oslo. Den maksimale timesmiddelkonsentrasjonen er den timen som hadde høyest konsentrasjon i det aktuelle året.



Figur 2.15: Maksimal timesmiddelkonsentrasjonen (µg/m³) i løpet av et år for bakkenær ozon i utvalgte norske byer for årene 2004-2012. Noe data mangler på grunn av for lav datafangst. Kilde: Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet (2013)

De maksimale timesmiddelkonsentrasjonene av bakkenær ozon varierer lite over Norge, men er generelt lavere i Nord-Norge. I Sør-Norge er de regionale konsentrasjonene også høyere enn i byområdene. Dette skyldes at høye NO-utslipp i trafikkerte områder reagerer med ozon og dermed reduserer ozonnivåene i byområdene. Mer informasjon om konsentrasjonene ved bakgrunnsstasjonene finnes i vedlegg 5.

Som nevnt over, forårsakes helseeffektene av ozon primært av langtransporterte utslipp ettersom norske utslipp kun bidrar til 3-5 % av maksimalkonsentrasjonene på sommerstid og reduserer ozonkonsentrasjonen på vinterstid ved å bryte det langtransporterte ozonet ned til NO₂.

Miljøeffekter av O₃ i Norge

Ozons negative virkning på vegetasjon gjelder særlig for nyttevekster som grønnsaker og korn. Ved langvarig eksponering er det påvist negative virkninger på skog (Klif, 2012a). Sammenlignet med mange andre land i Europa antas ozonforurensning i Norge å ha relativt liten betydning for planteproduksjon og avling. Dette skyldes både at ozonnivåene i Norge er lavere og at det er sen vekststart om våren. Den sene vekststarten om våren gjør at plantene unngår periodene med de høyeste verdiene som ofte kommer på våren/forsommeren.

Det var ingen overskridelser av LRTAPs grenseverdi for plantevekst på de norske stasjonene i 2011. Grenseverdien for skog har nylig blitt redusert, og den nye grensen ble brutt på to av de norske målestasjonene; Birkenes og Haukenes, i 2011 (Klif, 2012a). Direkte ozonskader, som skader på bladverk, forekommer trolig i liten grad i Norge men det er grunn til å tro at ozon fører til vekstreduksjoner både for avlinger og skog i Sør- Norge hvor ozonkonsentrasjonene er høyest (Figur 2.14a, (SFT, 2009)).

Samfunnsøkonomiske beregninger av avlingstapet av hvete, potet og gress fra dyrket eng som skyldes bakkenært ozon ga direkte årlige kostnader på om lag 200-500 millioner kroner i 1992 (Rosendahl m. fl., 1998).

Som nevnt over, forårsakes miljøeffekten av ozon primært av langtransporterte utslipp ettersom norske utslipp kun bidrar til 3-5 % på sommerstid og reduserer ozonkonsentrasjonen på vinterstid ved å bryte det langtransporterte ozonet ned til NO₂.

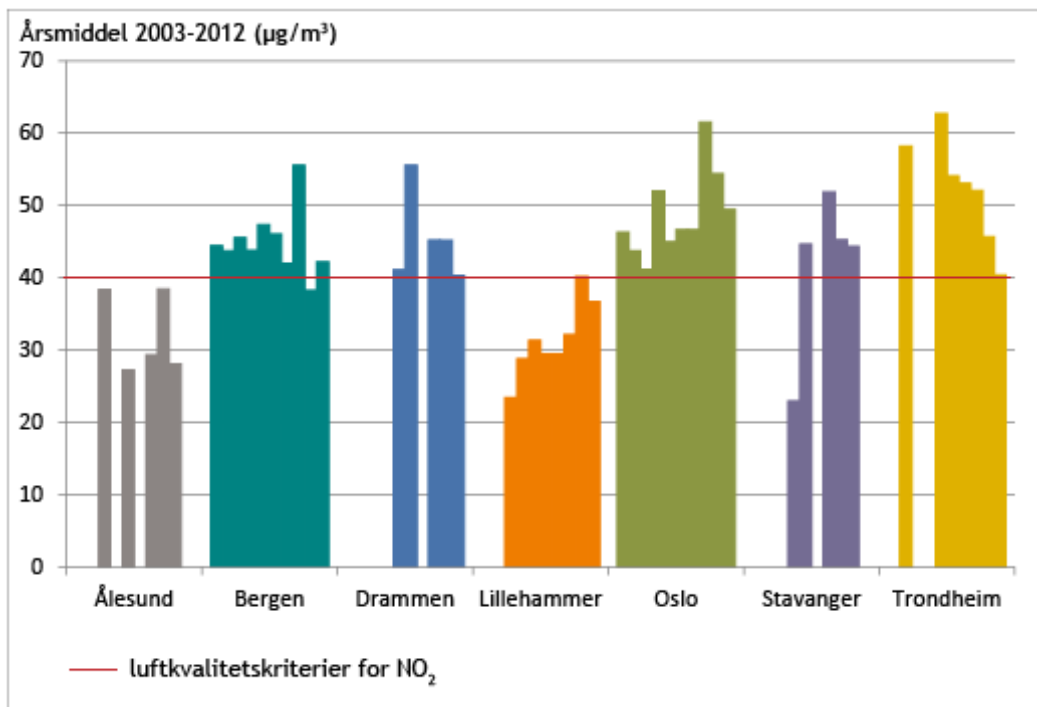
2.11.3. NO_x

Ozonforløperen NO_x kan også ha direkte helse- og miljøeffekt.

Helseeffekt av NO₂ i Norge

NO₂ kan gi skadelige effekter på helse i Norge, særlig blant utsatte grupper.

Figur 2.16 viser årsmiddelkonsentrasjonen av NO₂ i noen norske byer. Rød linje angir luftkvalitets-kriteriene (40 µg/m³) som er identisk med grenseverdiene i forurensningsforskriften. Flere byer har nivåer over disse kriteriene og NO₂ kan derfor ha skadelige helseeffekter i Norge, særlig blant utsatte grupper (Klif, 2012c).



Figur 2.16: Årsmiddelkonsentrasjonen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av NO_2 i utvalgte norske byer for årene 2003-2012. Noe data mangler på grunn av for lav datafangst. Kilde: Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet (2013)

Svært høye timesmiddelkonsentrasjoner av NO_2 (over $200\mu\text{g}/\text{m}^3$) inntreffer ofte på vinteren i Norge. Dette skyldes bl.a. at NO_2 dannes fra nedbrytning av ozon (se over). Dette gjelder særlig i Oslo hvor grenseverdiene for timesmiddel (18 overskridelser av $200\mu\text{g}/\text{m}^3$) brytes hvert år.

Miljøeffekt av NO_x i Norge

NO_x kan bl.a. bidra til både forsuring og overgjødning av vegetasjon, jordsmonn og vassdrag, samt overgjødning av sjøområder. Antropogene utslipp av nitrogen har medført økt plantevekst og derigjennom økt karbonlagring (Magnani m. fl., 2007).

Forsuringssituasjon i Norge er blitt vesentlig bedre, primært fordi de dominerende langtransporterte utslippene har blitt redusert. Naturens tålegrense for forsuring og overgjødning overskrides likevel tidvis i betydelige områder, spesielt i sørvest-Norge (Klif, 2012a).

Selv om langtransporterte utslipp dominerer konsentrasjonene av NO_x , bidrar regionale norske utslipp fra forbrenning med en andel som er av betydning for overskridelse av den fastsatte verdien for naturens tålegrenser. Dette gjelder spesielt for sørvest-Norge som tilføres mye NO_x fra olje- og gassproduksjon utenfor Vestlandskysten. For perioden 2002-2006 var det overskridelse av tålegrenser for vegetasjon i områder som til sammen dekker 14 % av Norges areal (SFT, 2009).

2.11.4. Metan (CH_4)

Metan har normalt ikke en skadelig effekt på helse- og miljø. Metan har derimot en indirekte helse- og miljøeffekt gjennom bidrag til dannelse av ozon.

2.11.5. HFK-er

HFK-ene har normalt ikke en skadelig effekt på helse- og miljø. Gassene kan være giftige i høyere konsentrasjoner, og kan dermed være et arbeidsmiljøproblem ved betydelige lekkasjer i lukkede rom.

2.12. Vurdering av helse- og miljøeffekter i tiltaksanalyser

2.12.1. Verdssetting av helse- og miljøeffekter

Helseeffekt er i dette arbeidet definert som påvirkning på befolkningens helse forårsaket av gitte konsentrasjoner av én eller flere forurensningskomponenter. Miljøeffekten er definert som påvirkning på avling og skog forårsaket av gitte konsentrasjoner av én eller flere forurensningskomponenter.

Helse- og miljøeffekt vil normalt ikke ha en markedspris, men det er laget nasjonale verdsettingsanslag som skal uttrykke samfunnets helsegevinst knyttet til utslippsreduksjoner for PM_{10} og NO_x . Disse er utarbeidet for transport av Samstad m. fl., 2010 og bygger på LEVE-studien (SFT, 2005).

Det finnes ingen etablerte verdsettingsfaktorer for BC for Norge. I flere internasjonale studier estimeres helseeffekter for BC i form av helseeffekter for $PM_{2,5}$ (fine partikler) som inneholder BC (Anenberg m. fl., 2012). Det finnes heller ikke norske verdsettingsfaktorer for $PM_{2,5}$. Vi har derfor estimert helseeffekten av BC i form av helseeffekten for PM_{10} som inneholder både BC, $PM_{2,5}$ og grovfraksjonen ($PM_{10}-PM_{2,5}$). Dette betyr i praksis at vi har verdsatt helseeffekten av de PM_{10} -reduksjonene som oppnås ved våre BC-tiltak.

BC utgjør en andel av PM_{10} . I antall tonn, vil utslippene/utslippsreduksjonene fra en bestemt kilde derfor være lavere for BC enn for PM_{10} . Det er imidlertid indikasjoner på at BC er en bedre indikator for helseeffekter enn PM_{10} (Janssen m. fl., 2011; WHO, 2012; WHO/EU, 2013). Det er derfor vanskelig å si om vi overestimerer eller underestimerer helsefordelen når vi bruker PM_{10} i stedet for BC for å verdsette helsefordelen av å redusere utslipp.

PM_{10} - og NO_x -reduksjonene har blitt verdsatt ved bruk av verdsettingsfaktorer beregnet for Vegdirektoratet av TØI og SWECO (Samstad m. fl., 2010). Prisene er konsumprisindeksert (oppjustert) til 2012-kroner. For andre effekter som ikke kan kvantifiseres, har vi vurdert helse- og miljøeffektene kvalitativt. Verdsettingsfaktorer for utslipp fra veitrafikk av PM_{10} og NO_x for områder med ulik eksponering av befolkningen er gitt i tabell 2.1.

Tabell 2.1: Verdsettingsfaktor for PM₁₀ og NO_x for utslipp fra veitrafikk. Kilde: Samstad m. fl. (2010)

Komponent	Benevning	Pris opprinnelig	Basisår, opprinnelig	Pris, KPI-justert 2012-kr
PM10, storby generell	kr/kg utslipp	3600	2009	3780
PM10, Oslo	kr/kg utslipp	3900	2009	4095
PM10, Trondheim	kr/kg utslipp	3900	2009	4095
PM10, Bergen	kr/kg utslipp	2900	2009	3045
PM10, Andre større byer	kr/kg utslipp	1640	2009	1722
PM10, Tettsteder	kr/kg utslipp	440	2009	462
NOx Oslo, Bergen, Trondheim	kr/kg utslipp	200	2009	210
NOx, andre større byer	kr/kg utslipp	100	2009	105
NOx, andre områder	kr/kg utslipp	50	2009	52,5

Verdsettingsfaktorene i Tabell 2.1 er utviklet for å beskrive helseeffekter av veitrafikkutslipp og viser at verdsettingsfaktorene øker med økende antall mennesker som eksponeres for forurensningen. Utslipp til luft fra for eksempel vedfyring vil kunne ha en annen sammensetning av partiklene og skje lengre unna personene som eksponeres. Utslipet fra pipen vil fortynnes noe før det når bakken. I henhold til FHI (personlig kontakt, Per Schwarze, 2013), er det likevel foreløpig ikke tilstrekkelig grunnlag for å si at partikler fra vedfyring er mindre skadelig enn partikler fra transport, selv om det ser ut til å være noen forskjeller. Vi har derfor valgt å benytte de samme verdsettingsfaktorene for utslipp fra vedfyring som for utslipp fra andre kilder.

For utslipp av andre helseskadelige stoffer enn PM₁₀ og NO_x finnes ingen etablerte verdsettingsfaktorer for Norge. Utslippsreduksjoner for andre komponenter er derfor ikke verdsatt. Miljøeffektene er heller ikke verdsatt grunnet manglende verdsettingsfaktorer, men er kommentert kvalitativt. Miljøeffekten av kortlevde klimadrivere er liten i Norge og primært knyttet til langtransportert ozon og NO_x (Kapittel 2.11.2 og 2.11.3). Miljøeffekten av norske utslipp av ozonforløperne (CO, nmVOC og NO_x) antas å være begrenset og at manglende verdsetting ikke er av betydning for analysens resultater.

Bruk av verdsettingsfaktorer er en forenkling i forhold til å modellere konsentrasjonsnivåer og beregne eksponering hver gang helse- og miljøeffekter skal verdsettes. Verdsettingsfaktorer har også den fordelen at effekten kan inkluderes i den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden.

2.12.2. Alternative måter å kvantifisere helse- og miljøeffekter

I stedet for bruk av verdsettingsfaktorer (kr/kg utslipp), kan helseeffekt uttrykkes i tapte leveår (Years Of Lives Lost, YOLL), kvalitetsjusterte leveår eller antall unngåtte dødsfall, noe som muligens forstås lettere enn et kronebeløp. For å beregne slike, trengs lokale, høyoppløselige konsentrasjonsdata for de kortlevde klimadriverne for å kunne beregne befolkningseksponering ved hjelp av dose-

responsfunksjoner. Slike høyoppløselige data har vi ikke hatt tilgang til i dette arbeidet fordi vi har modellert konsentrasjon i en global klimamodell, Oslo-CTM2, som har en horisontal oppløsning på $2,8^\circ \times 2,8^\circ$. Dette tilsvarer ca. 280 km $\times$ 280 km og vil dekke områder med svært ulik befolkningstetthet. Regionale eller lokale modeller vil være bedre egnet til studier av lokal luftforurensning, men disse vil sannsynligvis være mindre egnet til å modellere klimaeffekter siden det som regel er nødvendig med modeller med global utstrekning til det formålet.

Høyoppløselige konsentrasjonsdata for byene kan beregnes ved hjelp av spredningsmodeller tilpasset hver enkelt by. Da må utslippsnivåene lokalt og dens romlig fordeling og tidsoppløsning være kjent. I norske byer er kvaliteten på lokale utslippsdata generelt ikke god nok for beregning av høyoppløselige data som er nødvendig for å kvantifisere helseeffekter. Den lokale overvåkingen ved hjelp av modellering bør derfor utvides, spesielt i de større byene hvor helseeffekt av luftforurensning har størst betydning (kapittel 2.13 og 3.6.4).

Av samme grunn har vi heller ikke kunnet beregne miljøeffekt av norske utslipp av kortlevde klimadrivere i form av for eksempel antall tonn redusert avling eller skog.

2.13. Overvåking av kortlevde klimadrivere, OC og sulfatpartikler

Overvåkingsdata er en viktig del av det kunnskapsgrunnlaget som er nødvendig for å vurdere behovet for, og utforming av klima-, helse- og miljøtiltak samt oppfølging av effektene.

Overvåking av kortlevde klimadrivere, OC og sulfatpartikler fra utslipp av SO_2 omfatter systematisk måling av komponentenes konsentrasjon i atmosfæren og/eller mengden av svart karbon og andre partikler på snø og is. I Norge (inkludert Svalbard) foregår kun systematisk overvåking av konsentrasjoner i atmosfæren. Dette skjer på såkalte bakgrunnsstasjoner som er plassert slik at de er minst mulig påvirket av lokale utslippskilder (se Figur 2.17 for plassering av alle statlige bakgrunnsstasjoner i Norge). For partikler på snø og is finnes bare observasjoner over korte perioder og i begrensede områder i regi av forskningsprosjekter.

I kapittel 1 har vi beskrevet norske utslipp av kortlevde klimadrivere, OC og SO_2 . De norske utslippene av disse komponentene er imidlertid kun én av flere faktorer som påvirker de atmosfæriske konsentrasjonene av disse komponentene over Norge og Svalbard og mengde avsatt på snø og is. Andre faktorer er for eksempel tilførsel av utenlandske utslipp av de samme komponentene, metanutslipp fra naturlige kilder som våtmark og permafrost, interaksjon mellom de ulike komponentene, sprednings- og omdannelsesprosesser samt tilbakekoblingsmekanismer.

Overvåking av konsentrasjonen i atmosfæren over tid og kunnskap om mengde avsatt på snø og is er viktige verktøy for å forstå klima-, helse- og miljøeffekten av disse komponentene og deres historiske bidrag. Overvåkingsdata er også nødvendige for å verifisere og forbedre klimamodeller som kan gi indikasjoner på framtidig utvikling.

I Norge og på Svalbard har flere kortlevde klimadrivere, OC og sulfatpartikler blitt overvåket over lengre tid gjennom overvåking av forsurening, luftforurensning og etter hvert også klimagasser. I de senere år har man utvidet overvåkingen av partiklene med parametere for flere optiske egenskaper (bl.a. optisk tykkelse (Aerosol Optical Depth, AOD), fysiske egenskaper (størrelsesfordeling og masse for partikler), samt kjemisk sammensetning av partikler.

2.13.1. Statlig overvåking

Fram til 2012 foregikk all relevant statlig overvåking gjennom følgende tre delprogrammer:

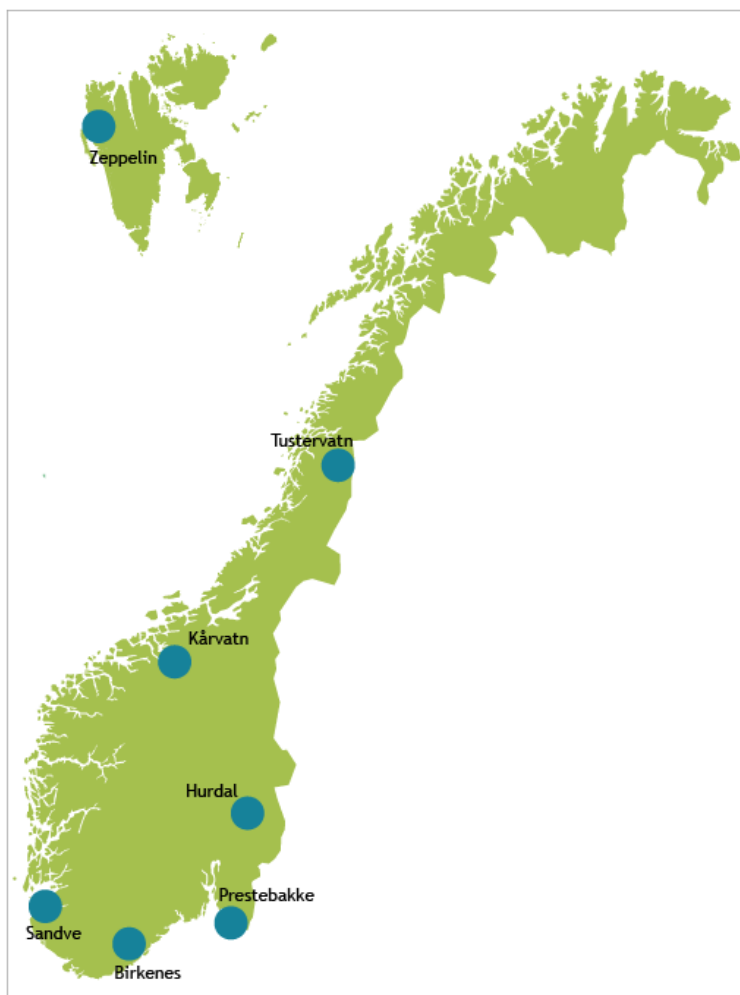
- Atmosfæriske tilførsler av forsurende forbindelser

- Atmosfæriske tilførsler av bakkenær ozon og partikler
- Klimagasser og ozonnedbrytende stoffer

Fra 2013 er disse tre delprogrammene samlet i ett større program kalt *Statlig program for overvåking av klimagasser, ozonlag og atmosfæriske forurensninger*. Miljødirektoratet var ansvarlig for de tre tidligere delprogrammene og er nå ansvarlig for det nye programmet. Relevant overvåking som dekkes av dette programmet er gitt i

Tabell 2.2 under.

Det finnes i dag ingen standard målemetode for svart karbon i atmosfæren eller på snø og is (Petzold m. fl., 2013). I statlig overvåking måles elementært karbon, EC, eller optisk absorpsjon av synlig lys som indikatorer for svart karbon.



Figur 2.17: Målestasjoner der kortlevde klimadrivere overvåkes i statlig overvåkingsprogram

Tabell 2.2: Atmosfærisk overvåking av kortlevde klimadrivere og relaterte parametere i Norge/Svalbard

Komponent		Startet	Planlagt tom år	Måle- stasjoner	Rapporteres til
Partik- ler	AOD	2002	2013-2016	Zeppelin	WMO/ GAWWDCA
		2009	2013-2016	Birkenes	WMO/ GAWWDCA
	Absorbsjons- koeffsient og spredningskoef- fisient for synlig lys	2009	2013-2016	Birkenes	
	PM ₁₀ og PM _{2,5}	2000	2013-2016	Birkenes	EMEP
		2009	2013-2016	Hurdal, Kårvatn	EMEP
	EC/ OC/ TC	2000	2013-2016	Birkenes	EMEP og WMO/ GAWWDCA
		2009	2013-2016	Hurdal, Kårvatn	EMEP og WMO/ GAWWDCA
	SO ⁴⁻ (luft)	1973	2013-2016	Birkenes	
		1979	2013-2016	Kårvatn, Tustervatn, Zeppelin, Hurdal. Flere nedbør- stasjoner	
	Ozon (bakkenær)		1985	2013-2016	Birkenes, Kårvatn, Tustervatn, Zeppelin, Troll
				Prestebakke, Hurdal, Sandve	MDs lange tidsserier
CO (ozonforløper)		2001	2013-2016	Zeppelin	EMEP
		2007	2013-2016	Troll	
		2013	2013-2016	Birkenes	
CH4		2009	2013-2016	Birkenes	
		2000	2013-2016	Zeppelin	
HFK		2001	2013-2016	Zeppelin	

I tillegg gjøres det i regi av forskjellige forskningsprosjekter- og programmer en del observasjoner som kan omfatte flere parametere og/eller målestasjoner. Disse er et viktig supplement til den statlige overvåkingen og noen av disse refereres i Miljødirektoratets årsrapporter for den statlige overvåkingen.

Observasjoner av svart karbon på snø og is inngår ikke i det statlige overvåkingsprogrammet. Alle observasjoner av svart karbon på snø og is har skjedd gjennom forskningsprogrammer. Noen eksempler på forskningsprogrammer som omfatter observasjoner av BC er vist i Tabell 2.3 under.

Tabell 2.3: Oversikt over observasjoner i Norge av BC i atmosfæren og på snø

Komponent	I regi av	År med data	Målestasjoner	Målefrekvens
BC i atmosfæren (absorpsjonsmålinger)	Stockholms universitet	2005	Zeppelin	Time
BC på snø (EC-målinger)	Norsk Polarinstitutt	2007 og 2008	Svalbard	Prosjektbasert

2.13.2. Overvåking av lokal luftforurensning

Flere kommuner overvåker kortlevde klimadrivere på grunn av krav til luftkvalitet. Denne overvåkingen er lovpålagt gjennom forurensningsforskriftens paragraf 7 om lokal luftkvalitet. Svart karbon overvåkes ikke. En oversikt over denne overvåkingen er gitt i tabell 2.4.

Tabell 2.4: Oversikt over tilgjengelige overvåkingsdata for lokal luftforurensning i Norge

Komponent	I regi av	År med data ¹⁰	Lokasjoner
PM ₁₀	Anleggseiere og kommunene	Varierer, ca. siste 10-15 år	13 kommuner
PM _{2,5}	Anleggseiere og kommunene	Varierer, ca. siste 10-15 år	Syv kommuner (syv av de 13 som måler PM10)
Ozon	Kommunene	Varierer, ca. siste 10-15 år	Fem kommuner
NO ₂ (NO _x , ozonforløper)	Anleggseiere og kommunene	Varierer, ca. siste 10-15 år	12 kommuner

Mer informasjon og resultater fra denne overvåkingen er gitt i kapittel 2.13.3 og vedlegg 5.

2.13.3. Hovedfunn fra norsk statlig overvåking av kortlevde klimadrivere

Svart karbon og organisk karbon

Andel av elementært karbon (en parameter som indikerer svart karbon) og organisk karbon i både PM_{2,5} og PM₁₀ måles ved Birkenes, Hurdal og Kårvatn (Figur V5.1 og Figur V5.2 i vedlegg 5). Målingen ved Birkenes har vært foretatt siden 2001 og resultatene har variert fra år til år uten en klar trend. Nivåene domineres av langtransporterte utslipp fra Storbritannia, Sentraleuropa og i varierende grad fra Nord-Amerika, inkludert partikler fra skogbrann. Mengden og sammensetningen av

¹⁰ Det er overvåkingsdata fra tidligere år også, men for den standarden som er satt i EU-direktivet 2008/50/EC, eksisterer kun data fra de siste 10-15 årene.

utslippene varierer for de ulike områdene og over tid. Avstanden og sirkulasjonsforhold i atmosfæren bestemmer hvor mye som kommer til Norge fra de ulike områdene. Meteorologiske forhold spiller derfor en viktig rolle for luftkvaliteten. Målinger ved Hurdal og Kårvatn ble nylig igangsatt. Nivåene fra disse stasjonene forventes å variere på samme måte og av samme årsaker som data fra de andre stasjonene.

Det finnes ingen norsk overvåking av svart karbon i Arktis. Det har imidlertid foregått absorpsjons- og spredningsmålinger i Ny-Ålesund på Svalbard i regi av Stockholms Universitet. Denne overvåkingen har vært finansiert av Vetenskapsrådet og Naturvårdsverket i Sverige (Hirdman m. fl., 2010). Absorpsjons- og spredningsmålinger brukes som indikator for svart karbon i atmosfæren. Hirdman m. fl. (2010) viser at årlig konsentrasjon av svart karbon i atmosfæren har blitt redusert i gjennomsnitt 9 prosent per år i perioden målingene har pågått (2002-2009).

Ozon og ozonforløperne

Ozonkonsentrasjonen i atmosfæren over Norge/Svalbard viser ikke en entydig trend, men har store variasjoner fra år til år og over sesong.

For ozonforløperne:

- CO-konsentrasjonen har gått noe ned fra 2003. Årsaken til dette er ikke kjent
- Reduksjonen for NO_x har vært moderat (Klif, 2012b).
- Det finnes i dag ingen overvåking av ozonforløperen nmVOC. NILU har tidligere overvåket nmVOC, men ikke i regi av det statlige overvåkingsprogrammet. Tidsserien ble avsluttet i 2000 grunnet manglende finansiering

Metan (CH₄)

Metannivåene steg fram til 1998 både ved Zeppelin og globalt og lå deretter flatt fram til 2005. Fra 2005 har tallene steget (se figur V5.9, vedlegg 5). Årsaken til stigningen etter 2005 er ikke kjent, men knyttes til ulike hypoteser om økte utslipp fra våtmarker, både i tropiske og arktiske områder. Det er viktig å følge med på denne utviklingen framover, bl.a. for å avklare om økningen kan være tegn på frigivelse av metan fra smeltende permafrost. Dette kan gjøres ved kombinasjoner av isotopiske målinger og modellering ettersom metan fra ulike kilder har ulikt forhold mellom ¹³C/¹²C-isotopene. Siden 2009 foreligger også målinger på Birkenes. Disse ser ut til å ligge litt over verdiene på Svalbard.

HFK-er

HFK-ene er industrielt framstilte gasser, og deres bidrag til global oppvarming er i dag fortsatt begrenset. Ved Zeppelin har konsentrasjonene av HFK134a (14 års levetid), HFK152a (1,4 års levetid) og HFK125 (29 års levetid) økt med hhv 255 %, 230 % og 446 % siden 2001. Den raske økningen i konsentrasjonen av disse menneskeskapte stoffene, gjør det nødvendig å følge nøye med på videre utvikling.

Sulfatpartikler

Innhold av sulfatpartikler i atmosfæren over Norge/Svalbard har gått sterkt ned siden 1980. Denne reduksjonen er knyttet til internasjonale tiltak mot forsurening gjennom bl.a. LRTAP (vedlegg 3). Reduksjonen varierer mellom 78-95 prosent på fastlands-Norge og 63 prosent på Svalbard for perioden 1980-2011. Fra 2000 er det ikke signifikante trender med unntak av Zeppelin og Kårvatn der det har vært videre reduksjoner på i størrelsesorden 30 prosent.

2.13.4. Framtidig overvåking i Norge

Statlig overvåking

I 2013 ble all statlig overvåking av klima, ozon og atmosfærisk forurensning samlet i ett statlig overvåkingsprogram. Omfanget med hensyn på kortlevde klimadrivere forblir på omtrent samme nivå som i dag.

Lokal overvåking

Vi er ikke kjent med at noen norske kommuner/byer planlegger å endre omfanget av overvåkingen betydelig og vi regner derfor med at overvåkingen vil fortsette som nå. Dette betyr bl.a. at ingen norske kommuner/byer planlegger å inkludere svart karbon i sin overvåking, samt at overvåking av PM_{10} , $PM_{2,5}$, ozon og ozonforløperne fortsatt vil være begrenset til et fåtall kommuner. Det er ikke relevant med lokal overvåking av metan og HFK.

2.13.5. Internasjonal overvåking og overvåkingsnettverk

Ettersom utslipp til luft kan transporteres over landegrenser, er internasjonal koordinering av overvåking nødvendig for å kunne se sammenhenger som grunnlag for utforming av tiltak. Det største og mest forpliktende overvåkingsnettverket som omfatter kortlevde klimadrivere, er European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). EMEP startet allerede på 70-tallet, og Europa er etter hvert blitt rimelig godt dekket av målestasjoner.

I Arktis har systematiske målinger kun vært gjort over lengre tid noen få steder, bl.a. på Svalbard. Mesteparten av data fra Arktis har hittil vært resultat av forskningsprosjekter og kampanjer. Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP) spiller en viktig rolle både i å sammenfatte resultater og i en videre oppbygging av overvåkingen framover.

Tabell 2.5: Oversikt over internasjonale overvåkingsnettverk som omfatter én eller flere SLCF-parametere og som Norge har tilknytning til

Overvåkingsnettverk	Varighet og status	Fokus på kortlevde
EMEP - European Monitoring and Evaluation Programme	Startet med forsuring i 1970-årene. Bredt program i dag. Stasjoner over hele Europa, inkludert fire i Norge.	Inkluderer bl.a. aerosoler og bakkenær ozon. Fra 1990-årene også informasjon om regional transport av aerosoler/partikler og deres effekter på klimapådriv. EMEPs overvåkingsstrategi for 2010-2019 dekker også andre SLCF parametre (UNECE, 2012b).
ACTRIS; Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure Network www.actris.net	2011-2015 (prosjekt)	Europeisk prosjekt med mål om å integrere bakkestasjoner og standardisere målinger for overvåking av aerosoler, skyer og kortlevde gasser som bidrag til kunnskapsoppbygging om klimaendringer, luftkvalitet og langtransport av forurensinger.
ICOS - Integrated Carbon Observation System www.icos.infrastructure.eu	Forberedende fase i 2008-2013 Skal bli permanent. Norge er ikke medlem.	Forskningsinfrastruktur og nettverk for måling og tolkning av bl.a. CO ₂ og CH ₄ . Går inn i en permanent fase. Drift dekkes av nasjonal finansiering.
AMAP - Arctic Monitoring and Assessment Programme	Bygger på data fra andre, inkl. 4 målestasjoner i Arktis	Bruker data fra fire arktiske målestasjoner som måler svart karbon på ulike måte

Ingen overvåkingsprogrammer dekker BC/EC på snø og is. Det har imidlertid foregått en rekke undersøkelser og kartlegginger av EC og BC i snø samt effekten på albedo i hele Arktis, helt ned til ca. 65 grader nord (Aamaas m. fl., 2011; AMAP, 2012; Eleftheriadis m. fl., 2009; Forsström m. fl., 2009; Skeie m. fl., 2011).

3. Hovedfunn i del I: Klima-, helse- og miljøeffekt av kortlevde klimadrivere

3.1. Oppsummering av klima-, helse- og miljøeffekt av kortlevde klimadrivere i Norge

Vesentlig klimaeffekt av norske utslipp av svart karbon og metan på kort sikt

Den totale klimaeffekten av de kortlevde klimadriverne var 35 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ i 2011 (Figur 2.3). Til sammenligning var CO_2 -utslippene i 2011 ca. 45 millioner tonn.

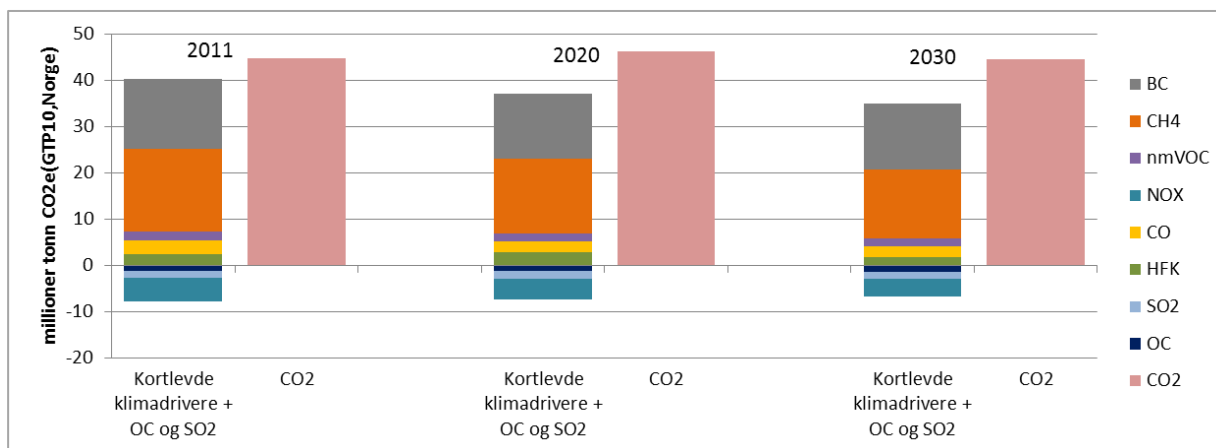
Den kortlevde klimadrivern med størst klimaeffekt er metan etterfulgt av BC. Av alle kortlevde klimadrivere og langlevde klimagasser, er det kun norske CO_2 -utslipp som har høyere klimaeffekt enn metan og BC. Samlet klimaeffekt for metan og BC er om lag 70 % av klimaeffekten av norske CO_2 -utslipp (Figur 3.1).

Viktig å redusere både kortlevde klimadrivere og CO_2 på kort sikt

Å overholde togradersmålet slik som verdens ledere har satt for å forhindre farlige klimaendringer, krever en langsiktig reduksjon i den globale oppvarmingen. I et 100-årsperspektiv dominerer klimaeffekten av CO_2 og andre langlevde klimagasser (kapittel 2.9). Klimaeffekten av de kortlevde klimadriverne er liten i et 100-årsperspektiv. For å unngå mer enn 2 °C oppvarming, er det derfor viktigst å redusere utslippene av CO_2 og andre langlevde klimagasser.

I et tiårsperspektiv er klimaeffekten av kortlevde klimadrivere vesentlig (Figur 3.1), men selv i dette kortsiktige tidsperspektivet var klimaeffekten av norske CO_2 -utslipp i 2011 alene større enn summen av klimaeffekten av alle norske utslipp av kortlevde klimadrivere. Dette indikerer at CO_2 -reduksjoner også er viktig på kort sikt. Raske CO_2 -reduksjoner vil kunne bidra med å begrense oppvarmingshastigheten på kort sikt. Det er derfor viktig for Norge å iverksette CO_2 -tiltak raskt.

Tiltak på kortlevde klimadrivere kan ikke erstatte CO_2 -tiltak verken på kort eller langt sikt. Men reduserte norske utslipp av kortlevde klimadrivere, og spesielt metan og BC, vil forsterke den globale klimagevinsten av raske reduksjoner i CO_2 -utslipp.



Figur 3.1: Global klimaeffekt av kortlevde klimadrivere, OC og SO₂ sammenlignet med CO₂ i 2011, 2020 og 2030

Norske BC-utslipp har betydning for Arktis

Norske BC-utslipp har per tonn om lag 1,5 gang høyere klimaeffekt enn det globale midlet (Figur 2.6) og kan bidra til avsmelting i Arktis (Figur 2.5). Dette skyldes at albedoeffekten av norske utslipp er høy grunnet vår nærhet til Arktis. Tilsvarende vil gjelde for andre land med nærhet til polområdene eller andre snø- og isdekkede områder som eksempelvis Himalaya.

Reduksjon i norske BC-utslipp vil kunne gi positive helseeffekter i Norge

Norske BC-reduksjoner vil også kunne gi helsefordeler ettersom dagens høye nivåer av fine partikler (PM_{2,5}), som BC er en delmengde av, i byer og tettbebygde strøk kan være helseskadelig for befolkningen.

Pga. svart karbons regionale klimaeffekt og negative helseeffekt, bør reduksjoner av disse utslippene vurderes spesielt.

Ingen klimagevinst av kutt i NO_x

I et kortsiktig perspektiv vil utslippsreduksjoner for ozonforløperen NO_x bidra til oppvarming. På lang sikt, eksempelvis 100 år, har NO_x-utslipp minimal klimaeffekt.

NO_x-reduksjoner vil imidlertid gi helse- og miljøgevinst i Norge. I tettbygde strøk kan nivåene av NO₂ være helseskadelig for den norske befolkningen. I tillegg bidrar NO_x til dannelsen av helseskadelig ozon. Miljøeffekten av ozon er begrenset.

Nivåene av ozon skyldes primært langtransportert forurensning. Norskprodusert ozon bidrar sommerstid til 3-5 % av ozonnivåene i Norge. På vinterstid er det norske bidraget negativt fordi langtransportert ozon brytes ned og danner NO₂. I tillegg bidrar lokale utslipp fra veitrafikken til helseskadelige nivåer av NO₂. Internasjonalt samarbeid (vedlegg 3) er viktig i forhold til å få ned disse nivåene i Norge. Norge må også innfri egne forpliktelser, og tiltak er i annet oppdrag under utredning for å redusere NO_x-utslipp av helse- og miljøhensyn (Miljødirektoratet, 2013b).

I Tabell 3.1 oppsummeres klima-, helse- og miljøeffekten av kortlevde klimadrivere i Norge.

For klimaeffekten er vurderingen basert på norske 2011-utslipp (bl.a. Figur 2.10). I tabellen betyr høy global klimaeffekt 10-20 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, middels global klimaeffekt betyr 5-10 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, liten klimaeffekt betyr 1-5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, og neglisjerbar effekt betyr under 1 million tonn CO₂-ekvivalenter.

Tabell 3.1 Oppsummering av global og regional klimaeffekt og helse- og miljøeffekt av kortlevde klimadrivere i Norge

		Global klimaeffekt		Lokal helseeffekt	Regional/lokal miljøeffekt
		Kort sikt (GTP10, Norge)	Lang sikt (GTP100, Norge)		
BC		Høy (nr 3 etter CO ₂ og metan) Høy pga. høy albedoeffekt (bidrar til avsmelting i Arktis)	Neglisjerbar	Høy i tettbygde strøk (målt som PM _{2,5} som inneholder BC)	Ingen kjente
Ozon	CO	Liten	Neglisjerbar	Høy for ozon og NO ₂ i tettbygde strøk (primært langtransportert) Spesielt høye NO ₂ -nivåer på vinterstid skyldes nedbrytning av langtransportert ozon	Begrenset for ozon og NO _x (primært langtransportert)
	nmVOC	Liten	Neglisjerbar		
	NO _x	Negativ, middels	Negativ, neglisjerbar		
Metan		Høy (nr 2 etter CO ₂)	Neglisjerbar	Normalt ikke	Normalt ikke
HFK-er		Liten	Neglisjerbar	Normalt ikke	Normalt ikke

3.2. Metodikk for beregning av klimaeffekt av tiltak

3.2.1. Samlet klimaeffekt for tiltak

Et tiltak rettet på kortlevde klimadrivere, kan også påvirke utslipp av langlevde klimagasser og OC og SO₂ som er avkjølede. Derfor er det viktig at beregning av klimaeffekten av et tiltak tar hensyn til tiltakets effekt på alle disse komponentene.

Ved utarbeidelse av klimatiltak rettet mot BC er det viktig å fokusere på partikkelutslipp hvor BC-andelen er høy slik at samlet effekt gir en klimagevinst. Partikler fra mobile dieselmotorer består for eksempel typisk av 60-70 % BC mens partikkelutslipp fra forbrenning av biomasse, som vedfyring, domineres av organisk karbon (SSB, 2013). Utslipp fra skipstrafikk inneholder større mengder svovel fra forbrenning av marint drivstoff enn utslipp fra transportsektoren på land.

For BC-tiltak rettet på en kilde med en høy andel av OC, som eksempelvis utslipp fra vedfyring, vil klimagevinsten bli vesentlig mindre og potensielt negativ over tid (dvs. gir ikke lenger redusert klimaeffekt, kapittel 2.8). Implikasjonen er at vedfyringstiltak vil kunne ha positiv klima- og helseeffekt på kort sikt mens tiltakene primært er helsetiltak i et langsiktig perspektiv.

3.2.2. Reduksjoner av kortlevde klimadrivere som del av et større bilde

Ett mål for denne analysen har vært å identifisere verdien av å redusere kortlevde klimadrivere i tillegg til å redusere utslippene av CO₂ og andre langlevde klimagasser. Tiltak rettet på reduksjoner av CO₂ og andre langlevde gasser er ikke omfattet av denne analysen og ble sist utredet i Klimakur 2020 (Klif, 2010).

En rekke "CO₂-tiltak" vil imidlertid også redusere utslipp av kortlevde klimadrivere og i flere tilfeller også de avkjølende komponentene OC og SO₂. Dette gjelder for eksempel trafikkreduserende tiltak eller overgang til mer miljøvennlige kjøretøy eller fornybar energi. Ved analyse av slike CO₂-tiltak kan en vurdere å beregne den samlede klimaeffekten. Hvorvidt dette er hensiktsmessig, kommer an på analysens formål og må vurderes for hver enkelt analyse. Under visse betingelser vil dette kunne gi et riktigere bilde av reduksjonene og dermed kostnadseffektiviteten for CO₂-tiltak. Dette vil også gi et bedre bilde av hvorvidt det er mest hensiktsmessig å redusere kortlevde klimadrivere gjennom tiltak rettet på slike komponenter eller gjennom CO₂-tiltak.

3.2.3. Referansebane og felles tiltaksanalyser

Referansebanen for denne tiltaksanalyse av kortlevde klimadrivere inkluderer nasjonale utslipp av de kortlevde klimadriverne, de langlevde klimagassene og nasjonale utslipp av OC og SO₂. Vi har vurdert dette som nødvendig for å kunne ta hensyn til den samlede klimaeffekten av vurderte tiltak, samt se tiltak på kortlevde klimadrivere i lys av totale norske utslipp av komponenter med klimaeffekt.

Ved analyser av langlevde klimagasser hvor den samlede klimaeffekten legges til grunn (kapittel 3.2.2), bør en slik helhetlig referansebane også benyttes, men valg av vektfaktor må ta utgangspunkt i analysens formål (kapittel 3.2.4).

3.2.4. Valg av vektfaktor

IPCC (2013) og flere andre (kapittel 2.2) konkluderer at valg av vektfaktor for omregning til CO₂-ekvivalenter, avhenger av formålet for en klimaanalyse. Det er ikke internasjonal enighet om hvilken vektfaktor som er best egnet for analyse av kortlevde klimadrivere.

Ettersom vårt mandat er å analysere klimaeffekten av kortlevde klimadrivere på kort sikt, har vi vurdert det slik at "GTP10, Norge", er den mest hensiktsmessige vekt faktoren for vår analyse. Denne vekt faktoren gir et øyeblikksbilde av den globale temperaturresponsen 10 år etter utslippet og reflekterer både den korte levetiden for kortlevde klimadrivere og det faktum at utslippene finner sted i Norge.

3.2.5. Er det mulig å oppnå både klima-, helse- og miljøgevinst for alle tiltak?

Det er ikke mulig å oppnå klima-, helse- og miljøgevinst for alle tiltak ettersom ikke alle kortlevde klimadrivere har helse- og miljøeffekt. Miljøeffektene er så langt vi kjenner til begrenset for alle kortlevde klimadrivere, men det er behov for mer kunnskap om dette. Helsefordeler avhenger av hvorvidt befolkningen eksponeres for utslippet.

Underveis i arbeidet har vi også sett at NO_x-reduksjoner vil gi oppvarming på kort sikt (kapittel 2.5), men være gunstig for helse- og miljø. Vi har valgt å identifisere utslippsreduserende tiltak som begrenser oppvarmingen på kort sikt med best mulig helse- og miljøeffekt. Vi utreder derfor ingen tiltak rettet spesifikt på NO_x-reduksjoner. De NO_x-reduksjonene som følger av andre tiltak vi utreder, inkluderes imidlertid i beregning av effekter av tiltaket.

3.2.6. Kortlevde klimadrivere i et langsiktig perspektiv

Denne analysen skal fokusere på tiltak med positiv klima-, helse- og miljøeffekt på kort sikt. Tiltak valgt fordi de har gunstig klimaeffekt på kort sikt, bør imidlertid ikke medføre en oppvarming på lang sikt. For å vurdere robustheten i tiltak, bør det gjennomføres følsomhetsanalyser for å vurdere klimaeffekten også på lang sikt. Det betyr at man må gjenta analysen med andre vekt faktorer.

3.2.7. Mulige nasjonale mål for kortlevde klimadrivere

Norge har i dag nasjonale klimamål knyttet til klimagasser regulert i Kyotoprotokollen under Klimakonvensjonen, dvs. CO₂, metan, HFK-er, PFK-er, N₂O og SF₆. Forpliktelsene er knyttet til langsiktig temperaturstabilisering.

Det kan vurderes å etablere et kortsiktig mål rettet på å redusere oppvarmingshastigheten i tillegg til dagens langsiktige mål. Et eventuelt kortsiktig mål bør dekke alle komponenter som har temperaturrespons på kort sikt, dvs. både kortlevde klimadrivere og CO₂ og andre langlevde komponenter.

Ettersom flere av de kortlevde klimadrivene også er luftforurensere, er det viktig at måloppnåelse for klima og luft sees i lys av hverandre. Ved etablering av klima- og luftmål, bør en vurdere å ta den gjensidige påvirkningen disse har på hverandre med i betraktning.

3.3. Internasjonalt arbeid med kortlevde klimadrivere

Norge deltar allerede i en rekke globale og regionale initiativ som har som mål å redusere utslipp av kortlevde klimadrivere. De regionale initiativene omfatter bl.a. arbeid tilknyttet LRTAP, EU, Arktisk Råd og Nordisk Råd. De globale initiativene omfatter bl.a. det globale partnerskapet for klima og ren luft (CCAC)/UNEP, Montrealprotokollen (HFK-er vurderes inntatt), Klimakonvensjonen (metan og HFK-er), FNs sjøfartsorganisasjon (IMO) og Global Methane Initiative (vedlegg 3).

Norge bør arbeide aktivt for å få etablert en internasjonal definisjon av BC og målemetoder for BC, samt retningslinjer for utslippsrapportering. I tillegg bør Norge fremme harmonisert internasjonal overvåkning av de kortlevde klimadrivene. Norge bør også arbeide for et internasjonalt forpliktende samarbeid for å redusere for å redusere spesielt BC-utslipp. Metan og HFK-ene er dekket under Kyotoprotokollen, og ozonforløperne er dekket av Gøteborgprotokollen.

På kort sikt bør dette skje gjennom regionale initiativ som LRTAP og eventuelt Arktisk Råd.

På lengre sikt kan dette muligens gjøres gjennom Klimakonvensjonen eller andre globale initiativ. På grunn av de kortlevde klimadrivernes regionale preg, må det imidlertid vurderes videre hvorvidt Klimakonvensjonen er en egnet arena.

3.4. Styrket nasjonal koordinering av arbeidet med kortlevde klimadrivere

Ettersom en rekke internasjonale initiativ arbeider med å redusere kortlevde klimadrivere (vedlegg 3), er det behov for sterk nasjonal koordinering av arbeidet med kortlevde klimadrivere. Arbeidet i forvaltningen innebærer mange avgjørelser som påvirker både klimaendringer og luftforurensning. Dette arbeidet utføres i sammenheng med en rekke nasjonale og internasjonale initiativ, og det er en rekke ulike grupper involvert. Det er dermed et behov for styrket koordinering både internt i forvaltningen og i forhold til eksterne miljøer for å sikre en helhetlig politikkutforming.

3.5. Behov for ytterligere kunnskap

Under arbeidet med handlingsplanen for kortlevde klimadrivere har vi identifisert en rekke områder hvor det trengs mer kunnskap for å redusere usikkerheten og utforme hensiktsmessige tiltak. Disse er beskrevet under.

3.5.1. Forbedringer i Norges offisielle utslippsregnskap

Årlig utslippsregnskap for BC og OC

Regnskap for norske utslipp av BC og OC ble etablert for første gang i forbindelse med dette arbeidet. For å følge utviklingen og utarbeide hensiktsmessige tiltak, er det nødvendig å lage slike regnskap på årlig basis. I forbindelse med dette arbeidet har vi registrert en rekke forbedringsområder som det må jobbes med framover for å sikre best mulige regnskap.

Forbedringer for utslipp fra vedfyring

Vedfyring er en viktig kilde til norske BC- og OC-utslipp. I dette arbeidet ble Norsk Standard for måling av partikler benyttet for å bestemme utslippsfaktorer for partikler, BC og OC fra vedfyring (Seljeskog m. fl., 2013). For BC og OC ga dette utfordringer med overbelastning (såkalt overload) av filtrene som ble termisk-optisk målt for å beregne utslippsfaktor. Vårt arbeid har vist at det ikke er mulig å unngå overbelastning uten å avvike fra Norsk Standard for partikler. For å redusere usikkerheten i utslippsfaktorene for BC og OC ytterligere, bør det vurderes å endre Norsk Standard og gjennomføre nye forsøk i tråd med endret standard. Hvis Norsk Standard ikke endres på hensiktsmessig vis, må det vurderes å kjøre nye forsøk som avviker fra Norsk Standard. Arbeidet må sees i sammenheng med standardiserings- og reguleringsarbeid som foregår under EU og CEN.

NO_x-utslipp fra vedfyring inngår ikke i de offisielle framskrivningene i Perspektivmeldingen. Dette vil bli inntatt i neste års Perspektivmelding. For dette arbeidet betyr det at NO_x-reduksjoner fra vedfyring og tilhørende helseeffekter ikke kan inkluderes i beregningene. Et overslag viser at dette har liten betydning og ikke vil påvirke resultatet av en tiltaksanalyse.

Forbedringer for utslipp fra petroleumssektoren

Det er behov for å oppdatere utslippsfaktorer for BC, metan og nmVOC offshore og på land, samt forbedre kunnskapsgrunnlaget om utslippsmengder av BC, metan og nmVOC fra kilder offshore (fakling, stasjonær forbrenning, forbrenning av olje/gass over brennerbom og kaldventilerting/diffuse kilder) og på land (fakling og stasjonær forbrenning).

Andre forbedringsområder

Det er behov for å bedre metodikk for å fastslå mengde diesel brukt i ulike motortyper. I regnskapet fordeles totalt dieselforbruk etter en fordelingsnøkkel. Det er behov for å øke kunnskapen om dette for å sikre en mest mulig riktig dieselfordeling. Noen flere forbedringsområder er nevnt i Sektorrapporten (Miljødirektoratet, 2013c).

3.5.2. Vurdering av helse- og miljøeffekter

Bedre romlig oppløsning av utslippsdata

Bedre romlig oppløsning av utslippsdata er nødvendig for å kunne beregne befolkningens og miljøets eksponering for kortlevde klimadrivere. Det fineste rutenettet vi har tilgjengelig per i dag er på 50x50 km. Oppløsningen må bedres betraktelig slik at helse- og miljøeffekten av kortlevde klima-

drivere kan bestemmes med langt større grad av sikkerhet ved hjelp av dose-respons-funksjoner. For byer bør modellering av helseeffekter ha en oppløsning på under $1 \times 1 \text{ km}^2$. Satellittbasert kartlegging kan muligens benyttes i framtiden.

Utvikling av grenseverdier og luftkvalitetskriterier for BC

Helse- og miljøeffekter av svart karbon bør integreres i arbeidet for å redusere luftforurensning i Norge. Det bør etableres juridisk bindende grenseverdier og luftkvalitetskriterier for BC så snart dette er mulig (kapittel 2.11.1). Grenseverdiene i forurensningsforskriften følger av EU-krav og Norge bør påvirke utvikling av slike grenseverdier. Luftkvalitetskriterier som beskriver hvilke nivåer av luftforurensningskomponenter som ikke gir helseeffekter i befolkningen, heller ikke for de mest sårbare gruppene (barn, eldre, syke), bør utarbeides av Miljødirektoratet i samarbeid med Folkehelseinstituttet.

Utvikling av verdsettingsfaktorer

Det bør utvikles verdsettingsfaktorer for BC fra alle store kilder, inkl. bl.a. veitrafikk og vedfyring.

Negative effekter av dieselpartikkelfilter

Det er behov for utredninger for å kvantifisere effekten ulike typer av dieselpartikkelfilter har på utslipp av NO_2 og om og i hvilken grad drivstoff forbruket øker. Effekten vil antagelig variere avhengig av hvilken type dieselmotor filteret skal virke på, derfor må det testes for ulike teknologier.

3.5.3. Forskning på kortlevde klimadrivere

Behov for bedre modeller og forbedrete vektforhold for BC, OC og SO_2

I dette arbeidet har vi modellert den globale klimaeffekten av norske utslipp av kortlevde klimadrivere (figur 3.8). Effekten BC, OC og SO_2 har på skydannelse og skyers egenskaper kunne ikke inkluderes i modelleringen fordi kunnskapsgrunnlaget for dette var utilstrekkelig på modelleringstidspunktet. Dette er en stor kilde til usikkerhet (IPCC, 2013). Det bør forskes videre på disse effektene. Deretter bør klimamodellene oppdateres, oppdaterte vektforhold for BC, OC og SO_2 modelleres og legges til grunn i framtidige analyser av kortlevde klimadrivere. Det bør dessuten forskes videre på bl.a. vertikalfordeling av BC i atmosfæren, tidsprofil av kortlevde klimadrivere, temperaturrespons for kortlevde klimadrivere og påvirkning på karbonsyklusen, samt regional temperaturrespons og klimaeffekter i Arktis.

I arbeidet med handlingsplanen har vi forsøkt å undersøke temperaturresponsen av norske utslipp av kortlevde klimadrivere i ulike deler av verden. Kunnskapsgrunnlaget var imidlertid ikke tilstrekkelig til å trekke sikre konklusjoner. Modelleringen kunne kun baseres på en studie (Shindell og Faluvegi, 2009) og inkluderte på bakgrunn av studiet kun temperaturresponsen av BC fra atmosfærisk absorpsjon av sollys. Dette betyr at albedoeffekten for BC ikke kunne inkluderes. Grunnet den svært høye usikkerheten er resultatene ikke inkludert i dette forslaget til handlingsplan. Det er behov for å utvikle metodikken og inngangsdataene for å redusere usikkerheten forbundet med regional temperaturrespons.

3.5.4. Overvåking

Det er behov for å styrke den planlagte overvåkingen for å synliggjøre tiltaksbehov og vurdere hvorvidt gjennomførte tiltak har hatt effekt. Behovet gjelder spesielt svart karbon, organisk karbon og metan og er beskrevet under.

Ytterligere statlig overvåking av kortlevde klimadrivere

For å overvåke klimaeffekten av svart karbon og organisk karbon er det behov for lange tidsserier ved bakgrunnsstasjoner. Det ville være hensiktsmessig å utvide norsk overvåking som følger:

- Utvidelse til en fjerdestasjon på det norske fastlandet for partikkelmålinger (PM og EC/OC) utover Birkenes, Hurdal og Kårvatn kan være aktuell for å få et bedre bilde av transporten nordover.
- Utvidelse av partikkelmålingene på Svalbard/Zeppelin med partikkelstørrelse og kjemisk sammensetning. Dersom det åpnes for mer skipstrafikk og petroleumsvirksomhet i nordområdene, vil partikkelutslippene øke i framtiden. Det er nødvendig å ha gode observasjoner av tilstanden før og etter en slik utvikling for å kunne overvåke effekten av økte partikkelutslipp.
- Etablere mer regelmessige og systematiske målinger av EC eller BC i snø eventuelt kombinert med albedomålinger. Gjennomføring av slike målinger kan også vurderes utført på det norske fastlandet.
- Økt frekvens i målinger av PM₁₀ og PM_{2,5} på Hurdal og Kårvatn. Vi måler i dag på ukesbasis mens LRTAP krever overvåking på døgn eller timebasis.

Ettersom målemetodene for BC i dag varierer, anbefaler vi et forskningsprosjekt som måler BC ved ulike metoder ved samme stasjon og sammenligner resultatene av disse for å vurdere betydningen av valg av målemetode.

Det anbefales også mer systematisk overvåking av svart karbon på snø/is både i Norge og Arktis (2.13.1).

Metan: Norske tiltak vil i liten grad gi utslag på metankonsentrasjonen som overvåkes i Norge/Svalbard ettersom metan fordeler seg jevnt i atmosfæren. Metanovervåkingen bør imidlertid utvides for å kunne vurdere bidragene fra naturlige kilder som smeltende permafrost. Måling av C-14 vil kunne skille metan fra fossile og naturlige kilder.

Ozon og HFK-er: Statlig overvåking av ozon og HFK-er anses som tilstrekkelig.

Ytterligere lokal overvåking av kortlevde klimadrivere

Med tanke på helse- og miljøeffekter av svart karbon er det behov for lokal overvåking. Ingen kommuner overvåker svart karbon per i dag. Det kan også være hensiktsmessig at alle kommuner som måler PM₁₀, også måler PM_{2,5}. Dette kan pålegges gjennom forurensningsforskriftens kapittel 7.

Det kan vurderes utvidelse av krav til lokal overvåking av ozon i flere norske kommuner.

Internasjonal deltakelse for overvåking

Ettersom kortlevde klimadrivere kan krysse landegrenser, er det behov for internasjonale nettverk for overvåking av kortlevde klimadrivere. Det vil være mest effektivt å passe utviklingen av den norske overvåkingen på kortlevde klimadrivere inn i de europeiske overvåkingsprogrammer og

nettverk som allerede er etablert eller under oppstart (EPAs nettverk for svart karbon (ny), ICOS (ny), EMEP, Ingos, ICOS, ACTRIS etc.).

Norge bør opprettholde sitt engasjement i etablerte nettverk og følge opp de utvidelser som følger av EMEPs nye overvåkingsstrategi for perioden 2010-2019 (UNECE, 2012a). Norge bør også tilslutte seg ICOS som bl.a. dekker ovennevnte overvåking av metan og delta aktivt i EPAs nye nettverk for bl.a. overvåking av svart karbon.

Norge bør også bidra aktivt for å sikre en utvidelse av overvåkingen av Arktis gjennom flere stasjoner og flere/bedre målinger ved de eksisterende stasjoner, samt overvåking av BC og ozon på flere nivå i atmosfæren i samarbeid med andre land for å kunne avklare transportveier, mengder og kilder.

Norge bør også bidra aktivt til å utvikle og etablere standardisering av målemetoder for svart karbon. Dette vil være et viktig grunnlag for å kunne sammenligne utslipp fra ulike land og være med å danne grunnlag for en internasjonalt forpliktende avtale.

3.5.5. Kunnskapsoverføring

Norge bør dele sine erfaringer med handlingsplanarbeidet på relevante arenaer, bl.a. gjennom CCAC og bilateralt arbeid.

Spesielt relevant vil det være om Norge kunne bidra til å frambringe mer kunnskap om utslipp av svart karbon fra fakling av naturgass. Kunnskapsgrunnlaget er her svært mangelfullt, men det er nå utviklet teknologi for å utføre målinger. Dette er nærmere omtalt i sektornotatet for petroleum.

Del II: Tiltaksanalyse for kortlevde klimadrivere

4. Forutsetninger for tiltaksanalysen

Formålet ved denne delen av analysen er å gi en helhetlig vurdering av klima-, helse- og miljøeffekter av norske utslipp av kortlevde klimadrivere og foreslå tiltak og virkemidler for å redusere slike effekter innen 2030. Et definert mål for utslippsreduksjoner er ikke satt.

Analysen er avgrenset til utslipp som inngår i det norske utslippsregnskapet slik det publiseres av Miljødirektoratet og SSB.

En rekke "CO₂-tiltak" vil redusere utslipp av kortlevde klimadrivere. Dette gjelder for eksempel trafikkreduserende tiltak eller overgang til mer miljøvennlige kjøretøy eller fornybar energi. Slike tiltak er i hovedsak ikke dekket av denne analysen og ble sist utredet i Klimakur 2020 (Klif, 2010). Fokus for denne analysen er dermed å identifisere utslippsreduksjoner som er tillegg til de reduksjonene som følger av CO₂-tiltak. Analysen gir dermed ikke en oversikt over det fullstendige reduksjonspotensialet for norske utslipp av kortlevde klimadrivere.

Vi har rettet våre tiltak på utslippskilder hvor reduksjonspotensialet for de kortlevde klimadriverne er stort. De fleste av våre tiltak er rettet på BC og CH₄ som er de kortlevde klimadriverne med størst klimaeffekt på kort sikt (Figur 2.3). Tiltakenes reduksjonspotensial beskrives i forhold til den utslippsutviklingen vi forventer basert på vedtatt politikk, en såkalt referansebane (kapittel 2.10).

For noen tiltak kan det være konflikt mellom ønske om klimagevinst og positive helse- og miljøeffekter. Som nevnt over, gir for eksempel NO_x-reduksjoner kortsiktig oppvarming, men helse- og miljøgevinst. Vi har hatt som mål å redusere oppvarming på kort sikt uten vesentlige negative helse- og miljøeffekter.

Innenfor denne rammen har målet vært å identifisere alle tiltak med vesentlig reduksjonspotensial, og vi har vurdert reduksjonspotensialet for alle utslippskilder i det norske utslippsregnskapet. I praksis har imidlertid tilgjengelig data- og kunnskapsgrunnlag vært en begrensning i forhold til hvilke tiltak det har vært mulig å utrede.

Data- og kunnskapsmangel har vært en spesiell utfordring for petroleumssektoren hvor vi kun har kunnet utrede to tiltak. Dette er ikke nødvendigvis de beste tiltakene for denne sektoren, og mer informasjon bør innhentes for å kunne vurdere ytterligere tiltak (kapittel 5.1).

Ettersom vår analyse ikke kan gi en fullstendig oversikt over reduksjonspotensialet for norske utslipp av kortlevde klimadrivere, er arbeidet heller ment å illustrere et mulig handlingsrom for tiltak på kortlevde klimadrivere. Ytterligere utredning kan være nødvendig for å identifisere de beste tiltakene, samt dimensjonere de utredete tiltakene på hensiktsmessig vis.

4.1. Overordnet beskrivelse av sektorene

Vi har vurdert reduksjonspotensial for alle norske utslippskilder slik de er publisert i det norske utslippsregnskapet for 2011 (Klif/SSB, 2013).

På bakgrunn av dette har vi identifisert seks sektorer hvor vi har utredet tiltak. Disse sektorene er petroleum, industri, oppvarming i husholdninger, transport, jordbruk, og HFK-er i produkter (Boks 4.1). Sektorene er beskrevet i Kapittel 5. I tillegg finnes det omfattende informasjon om sektorene og foreslåtte tiltak og virkemidler i Sektorrapporten.

Resterende kilder er samlet i en gruppe kalt "Utslipp uten tiltak". I 2011 var utslipp fra disse kildene 6 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Dette utgjorde 17 % av klimaeffekten fra norske utslipp av kortlevde klimadrivere dette året (netto totalt 35 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$). De største kildene vi ikke har identifisert tiltak for er metan fra avfallsdeponi (51 000 tonn som tilsvarer 4,4 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ i 2011) og nmVOC fra produkter (45 500 tonn) og bensindistribusjon (4 500 tonn), totalt 50 000 tonn nmVOC som tilsvarer 0,7 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ i 2011.

Det er allerede innført virkemidler for disse metan- og nmVOC-utslippene. Metanutslipp fra avfallsdeponi forventes å gå ned til 23 500 tonn i 2030 som følge av deponiforbudet som ble innført i 2009. I tillegg har de fleste deponiene som har mottatt biologisk nedbrytbart avfall, eksisterende krav til oppsamling og fakling av deponigass gjennom avfallsforskriften kapittel 9 vedlegg III. Noen deponier bruker for eksempel gassen til varme og elektrisitet.

I Klimakur 2020 (Klif, 2010) ble det vurdert å hente ut mer metangass fra avfall som allerede var blitt deponert, men reduksjonspotensialet ble funnet å være relativt lite. Vi har kommet til samme konklusjon. Vi har derfor ingen tiltak på avfallsdeponering i denne tiltaksanalysen.

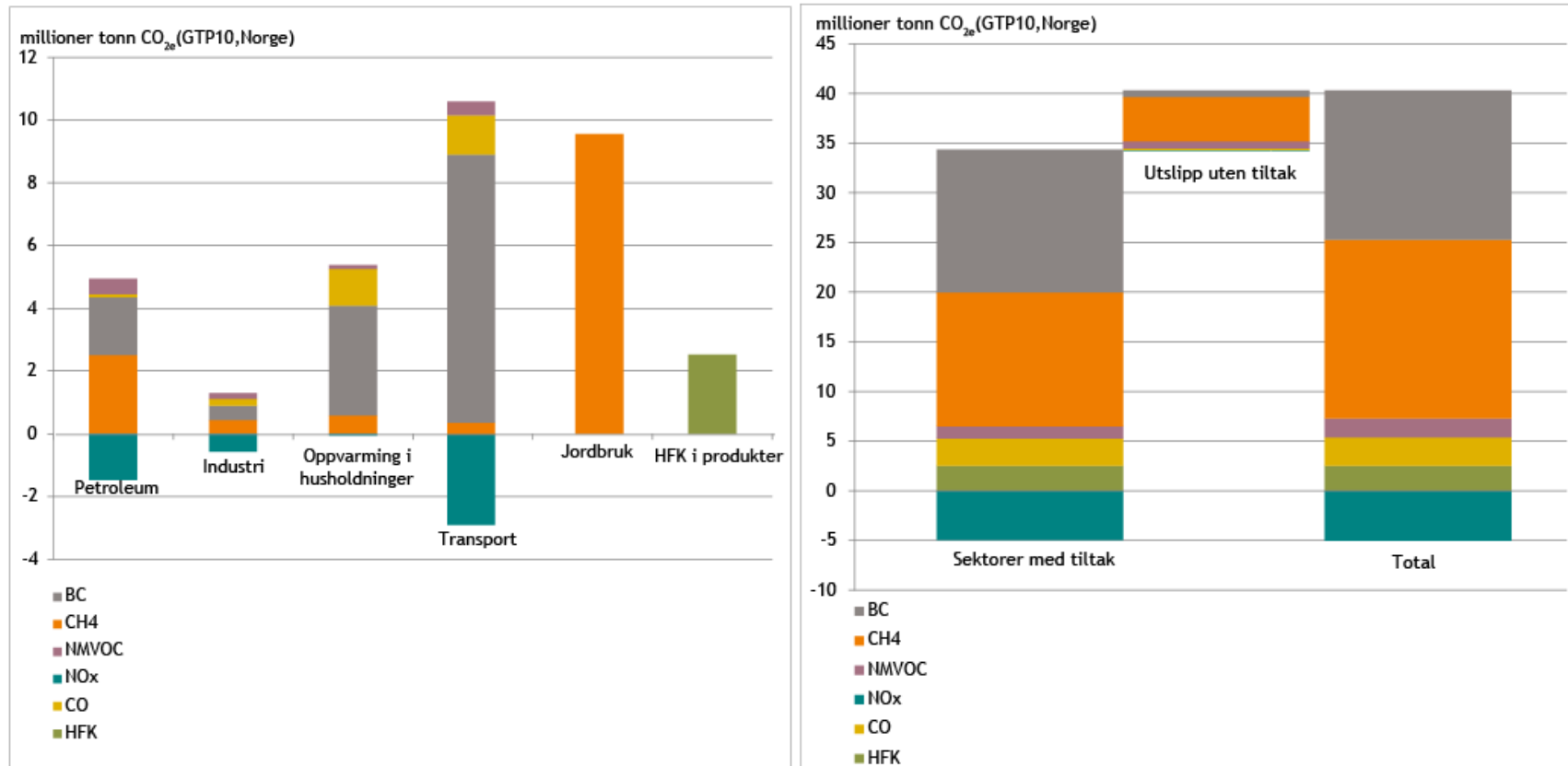
I gruppen "Utslipp uten tiltak" kommer utslipp av nmVOC fra løsemidler, maling og lakk samt distribusjon, lagring og påfylling av bensin. Håndtering av løsemidler for bedrifter (for eksempel lakkeringsverksteder eller verksteder som arbeider med overflatebehandling) er beskrevet i forurensningsforskriftens kapittel 9, og må ikke overstige visse grenseverdier. Maling- og lakkprodukter må overholde bestemte krav til nmVOC i produktforskriftens kapittel 2. Det er også krav til håndtering av lagring, lasting og transport av bensin og bensindamp fra bensinpumper i "Forskrift om reduksjon av utslipp av bensindamp". I 2030 forventes utslippene av nmVOC fra bensindistribusjon å være små. Ingen nye tiltak på dette området er utredet i denne tiltaksanalysen, men en tettere oppfølging av gjeldende forskrifter vil sannsynligvis redusere nmVOC-utslippene ytterligere.

Våre sektorer samsvarer i stor grad med sektorene i det norske utslippsregnskapet. Sammenhengen er som følger:

- Transport tilsvarer summen av sektorene *Veitrafikk* og *Luftfart, sjøfart, motorredskaper med mer* fra utslippsregnskapet.
- Oppvarming i husholdninger er identisk med undersektoren *Oppvarming i husholdninger* i sektoren *Oppvarming i andre næringer og husholdninger* i utslippsregnskapet
- HFK-er i produkter er identisk med undersektoren *HFK i produkter* i sektoren *Andre kilder* i utslippsregnskapet.
- Petroleums- og industrisektoren er identisk med hhv. *Olje- og gassutvinning og Industri og bergverk* i utslippsregnskapet (kun navneendring)
- Gruppen "Utslipp uten tiltak" er summen av sektoren *Andre kilder*, ekskl. *HFK i produkter*, *Energiforsyning* og undersektoren *Oppvarming i andre næringer og husholdninger*, ekskl. *Oppvarming i husholdningene*

4.2. Utslipp fra tiltakssektorene

De seks sektorene vi har utredet tiltak for har en total netto klimaeffekt på 29 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ fordelt som vist i Figur 4.1 a under. Disse sektorene utgjør total 83 % av alle norske utslipp av kortlevde klimadrivere (netto totalt 35 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$), se Figur 4.1 b.



Figur 4.1: a) Sektorvise utslipp av de ulike kortlevde klimadriverne i 2011 i de sektorene vi har utredet tiltak for og b) hvor stor andel av nasjonale utslipp av de kortlevde klimadriverne som dekkes av disse sektorene

Transport- og jordbrukssektorene har de største utslippene av kortlevde klimadrivere målt i CO_{2e} (GTP10, Norge). I transportsektoren dominerer BC-utslipp fra dieseldrevne motorer. Utslipp av kortlevde klimadrivere fra jordbrukssektoren består utelukkende av metan, hvorav hovedparten av metanutslippene kommer fra husdyrenes fordøyelse (87 % i 2011) og resten fra lagring av husdyrgjødsel.

Det er vesentlige utslipp fra oppvarming i husholdninger, og disse stammer primært fra BC fra vedfyring. Petroleumssektoren har vesentlige utslipp av BC fra bl.a. fakling og dieselbruk og metan fra bl.a. kaldventilering og lekkasjer i prosesser.

Sektoren HFK i produkter omfatter kun HFK-utslipp fra produkter, som for eksempel kuldemedium og varmepumper. Norge har et omfattende regelverk for å begrense HFK-utslippene, og utslippene er i dag relativt begrenset. Enda strengere krav er imidlertid til vurdering i EU. I industrisektoren har utslippene av BC og CO blitt mer enn halvert siden 1990 som følge av lavere produksjon og forbedret teknologi, og utslippene av kortlevde klimadrivere er i dag nokså begrenset i industrien (kapittel 1 og 4.1).

CO- og nmVOC-utslippene er relativt små på nasjonalt nivå, hhv. 8 % og 6 % av klimaeffekten av utslipp av kortlevde klimadrivere i 2011. Viktigste kilden til CO-utslippene er i dag vedfyring som vi har utredet tiltak for av hensyn til BC-utslippene. Utover dette har vi vurdert det kvantifiserbare reduksjonspotensialet som lite. Vi har kun identifisert ett tiltak som primært er rettet på CO. nmVOC-utslippene i tiltakssektorene stammer hovedsakelig fra fordampning av råolje. Vi har kun hatt datagrunnlag for å utrede ett tiltak fra denne kilden.

4.2.1. Metodisk tilnærming og oversikt over utredete tiltak

Kortlevde klimadrivere er et relativt nytt felt i forvaltningssammenheng. Det naturvitenskapelige kunnskapsgrunnlaget er heller ikke modent og har utviklet seg parallelt med arbeidet med handlingsplanen. Vi har derfor måttet utrede metodikk for å kunne gjennomføre tiltaksanalysen. Denne metodikken er oppsummert i kapittel 3.2. Resterende metodikk er beskrevet i Vedlegg 6 og 7. Vi nevner her noen sentrale elementer.

For alle tiltak er det beregnet samlet klimaeffekt, dvs. summen av oppvarmende og avkjølende effekter (kapittel 3.2.1). Utslipp av NO_x, OC og SO₂ bidrar til en avkjøling av atmosfæren og fører til oppvarming når de blir redusert. Dette er spesielt viktig for utslipp som inneholder en høy andel avkjølende komponenter, eksempelvis organisk karbon fra vedfyring.

Klimaeffekten i er gitt i CO_{2e}(GTP10, Norge) (kapittel 3.2.4). I hvilken grad analysens konklusjoner påvirkes av valg av vektfaktor, er testet ved å gjøre følsomhetsanalyser med flere vekt faktorer (vedlegg 11 og kapittel 2.9).

Det er verdt å presisere at det ikke er mulig å gjøre noen direkte sammenlikning mellom kostnads-effektiviteten for tiltak på kortlevde klimadrivere og andre studier gjennomført med andre vekt faktorer og/eller mot tradisjonelle klimatiltak som i Klimakur 2020 (Klif, 2010) eller McKinsey-kurven (Enkvist m. fl., 2007), eller med kvotepris.

Vi har verdsatt helseeffekter av de komponenter som det finnes norske verdsettingsfaktorer for, dvs. for NO_x og PM₁₀. I mangel av norsk verdsettingsfaktor for BC, har vi verdsatt PM₁₀-reduksjonene som følger av BC-tiltakene. Verdsettingsfaktorene er etablert for utslipp fra veitrafikk, men benyttes her for alle utslippskilder. Miljøeffektene er ikke verdsatt, men dette anses å påvirke konklusjonene i liten grad. Usikkerheten forbundet med disse valgene er beskrevet i vedlegg 11.

For de tiltakene der det kreves utprøving av ulike løsninger, har forventet oppstart av tiltaket blitt utsatt for å gi rom for optimalisering av tiltaket. Dette gjelder bl.a. ulike typer dieselpartikkelfilter.

4.2.2. Oversikt over utredete tiltak

Vi har utredet 18 ikke-overlappende tiltak som er vist i tabell 4.1. Ikke-overlappende tiltak er tiltak som reelt komplementerer hverandre fordi de reduserer ulike utslipp. Utslippsreduksjonene fra slike tiltak kan summeres.

Tiltak som er ulike alternativer for å redusere de samme utslippene, kalles overlappende tiltak. Effekten av overlappende tiltak kan ikke summeres. For eksempel vil ikke utskifting av gamle vedovner til nye vedovner gi utslippsreduksjoner utover reduksjonene fra et tiltak rettet på at de samme vedovnene skiftes ut med pelletsaminer.

Tabell 4.1: Utredete ikke-overlappende tiltak

Sektor	Tiltak	Primær komponent(er) som reduseres målt i CO _{2e} (GTP10, Norge)
Transport	Ettermontering og innfasing av partikkelfilter på skip i kysttrafikk	BC
	Ettermontering og innfasing av partikkelfilter på fiskebåter	BC
	Ettermontering av partikkelfilter på anleggsmaskiner	BC
	Ettermontering av partikkelfilter på traktorer	BC
	Ettermontering av partikkelfilter på lette kjøretøy	BC
	Ettermontering av partikkelfilter på tunge kjøretøy	BC
	Innfasing av biogass fra våtorganisk avfall (anvendelse erstatter diesel)	BC og metan
	Innfasing av biogass fra husdyrgjødsel, (anvendelse erstatter diesel)	BC og metan
Jordbruk	Redusert spill av mat	Metan
	Overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt	Metan
	Biogass fra husdyrgjødsel (produksjon)	Metan
Oppvarming i husholdninger	Bedre fyringsteknikk, ettersyn og vedlikehold	BC, OC
	Forsert utskifting til nye vedovner og pelletsaminer	BC, OC
HFK i produkter	Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er	HFK-er
	Redusere fyllingsbehovet og	HFK-er

	benytte HFK med lav vektfaktor	
Sektor	Tiltak	Primær -komponent(er) som reduseres målt i CO _{2e} (GTP10, Norge)
Petroleum	Økt gjenvinning av nmVOC og metan ved råoljelasting offshore	nmVOC og metan
	Ettermontering og innfasing av partikkelfilter på mobile rigger	BC
Industri	Energieffektivisering i deler av industrien	BC
	Ombygging til Freiland-prosessen i silisiumkarbidindustrien	CO

I tillegg til de 18 ikke-overlappende tiltakene i tabellen (de to tiltakene på biogass fra husdyrgjødsel er i praksis ett tiltak) har vi utredet tre overlappende (ett HFK-tiltak og to vedfyringstiltak). Ett utredet industritiltak viste seg ikke å ha klimagevinst og er derfor ikke med i tabellen eller våre vurderinger. Vi har også delvis utredet flere tiltak, samt at vi har identifisert flere reduksjonsmuligheter hvor vi ikke har kunnet utrede tiltak pga. utilstrekkelig data- og vitenskapelig kunnskapsgrunnlag. De fleste slike reduksjonsmuligheter er i petroleumssektoren. En oversikt over overlappende tiltak, delvis utredete tiltak og reduksjonsmuligheter er vist i vedlegg 13.

Hver sektor blir omtalt nærmere under. Mer informasjon om alle tiltakene og reduksjonsmulighetene finnes i Sektorrapporten (Miljødirektoratet, 2013c).

For alle tiltak som omtales her, er det et stort antall valgmuligheter med tanke på utforming og skalering. Ved annen utforming eller skalering enn vist vil både kostnader og utslippsreducerende effekter bli endret.

5. Sektorvis beskrivelse av tiltakene og mulige virkemidler

I dette kapitlet beskriver vi kort hver enkelt sektor vi har utredet tiltak for og historiske og forventede utslipp av kortlevde klimadrivere i disse sektorene. I tillegg beskriver vi tiltakene vi har utredet, samt identifiserer flere reduksjonsmuligheter vi ikke har kunnet kvantifisere tiltak for pga. manglende data- og/eller kunnskapsgrunnlag. Vi beskriver også mulige virkemidler for tiltakene vi har utredet. Mer utfyllende informasjon om sektorene finnes i sektornotatene i Sektorrapporten (Miljødirektoratet, 2013c).

Resultater av tiltakene er beskrevet samlet for alle sektorene i kapittel 6. I kapittel 6 har vi også vurdert hvilket virkemiddel, eventuelt kombinasjoner av virkemidler, som anses som mest hensiktsmessig og i hvilken grad vi tror foreslåtte virkemidler vil utløse de utredete utslippsreduksjonene (styringseffektivitet).

5.1. Petroleum

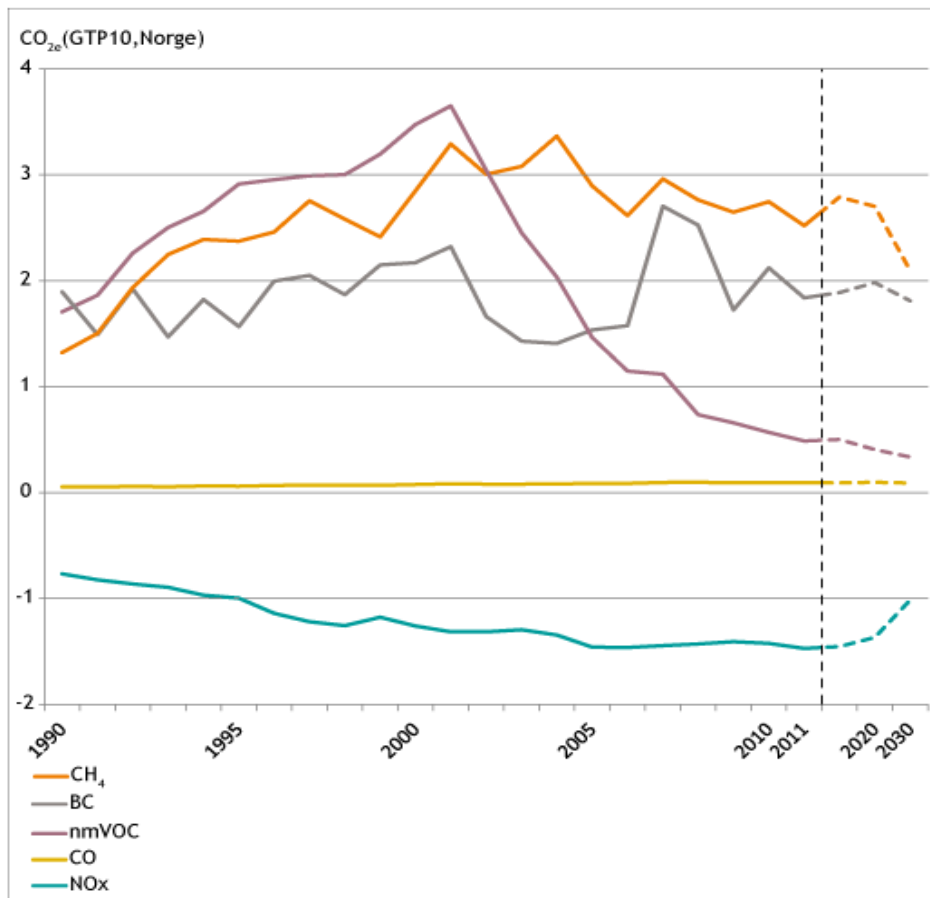
Petroleumssektoren omfatter alle faste og flyttbare innretninger på norsk sokkel og mottaks- og behandlingsanlegg på land, dvs. Gassco Kollsnes og Kårstø, Ormen Lange Landanlegg på Nyhamna, Hammerfest LNG på Melkøya, Sture-terminalen og oljeterminalen på Mongstad. Dette tilsvarer sektoren *Olje- og gassutvinning* i utslippsregnskapet.

Reduksjonsmuligheter ved de to oljeraffineriene Statoil Mongstad og Esso-Slagentangen, som inngår i sektoren *Industri og bergverk* i utslippsregnskapet, er av praktiske årsaker omtalt i sektornotatet for petroleum, da aktuelle reduksjonsmuligheter er de samme som for petroleumsanleggene på land. Utslippstallene for oljeraffineriene (dvs. stasjonær forbrenning og prosessutslipp) inngår imidlertid i utslippet for industrisektoren.

5.1.1. Utslipp og framskrivninger

Sektoren har utslipp av de kortlevde klimadriverne BC og metan og ozonforløperne nmVOC, NO_x og CO. De samlede utslippene fra sektoren økte markant frem til 2001 på grunn av økt aktivitet på sokkelen. Den historiske utviklingen preges også av periodevis høye utslipp av BC fra fakling på landanlegg, særlig i forbindelse med oppstart av Hammerfest LNG på Melkøya i 2007 og 2008.

Omregnet til CO_{2e}(GTP10, Norge) var nmVOC den viktigste enkeltkomponenten fram til 2001. Etter 2001 har det vært en markant nedgang i utslippene av nmVOC på grunn av at det etter krav fra myndighetene er tatt i bruk teknologi for gjenvinning av nmVOC under lasting av råolje til skip.



Figur 5.1: Historisk utvikling (1990-2011) og framskrivninger (2011-2030) for utslipp av kortlevde klimadrivere i petroleumssektoren i millioner tonn CO_{2e}(GTP10,Norge). Kilde: Klif/SSB (2013), (FIN (2013); SSB (2013))

Per i dag er det BC og metan som er de viktigste enkeltkomponentene. Fram mot 2030 forventes det en mindre nedgang i utslippene av kortlevde klimadrivere fra sektoren, hovedsakelig på grunn av redusert aktivitet, jf. figur 5.1.

5.1.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler

Data- og kunnskapsgrunnlaget har vært begrenset for denne sektoren. Vi har kun hatt data for å utrede to tiltak som ikke nødvendigvis representerer de beste reduksjonsmulighetene for denne sektoren.

Følgende to ikke-overlappende tiltak innen petroleumssektoren er utredet med reduksjonspotensialer og kostnader:

- Økt gjenvinning av metan og nmVOC ved råoljelasting offshore
- Partikkelfilter på mobile rigger som benytter dieselmotorer som hovedgeneratorer

I tillegg har vi identifisert ti muligheter for ytterligere utslippsreduksjoner, men vi har ikke hatt tilstrekkelig kunnskapsgrunnlag til å beregne utslippsreduksjoner og kostnader per i dag.

Tiltak 1: Økt gjenvinning av metan og nmVOC ved råoljelaasting offshore

Alle skytteltankere som i dag frakter olje fra norsk sokkel til terminaler på land, er utstyrt med teknologi for å begrense utslipp av nmVOC og metan under laasting. Virkningsgraden på de forskjellige teknologiene som er i bruk varierer imidlertid betydelig.

Tiltaket innebærer at alle nye skytteltankere som settes i drift for transport av råolje fra sokkelen til land i perioden 2016 til 2030 (til sammen 15 skip), utstyres med teknologi som reduserer nmVOC- og metanutslippene under laasting av råolje offshore mer effektivt enn i dag. Teknologien som forutsettes tatt i bruk er basert på kondensasjon av VOC som damper av under laasting og utnyttelse av kondensatet på skipet, slik at VOC-anlegget inngår som en integrert del i skipets drift. Gjenvunnet kondensat kan eksempelvis brukes til energiproduksjon i kjeler og drift av inertgassanlegg om bord på skipene, evt. også til el-produksjon.

Kondensasjonsanlegg er for øvrig i bruk på flere skytteltankere på norsk sokkel allerede i dag. Men disse anleggene har blitt ettermontert på skipene, noe som ikke er optimalt hverken ut fra tekniske eller kostnadmessige hensyn.

Tiltakskostnadene er beregnet som samfunnsøkonomiske marginalkostnader, dvs. at kostnader som uansett vil påløpe for å holde utslippene innenfor dagens utslippskrav, ikke inngår. Marginalkostnaden ved utskifting av et skip vil derfor avhenge av hvilken type VOC-håndteringsteknologi som er installert på skipet.

I beregningene av oppnåelige utslippsreduksjoner, har vi forutsatt at antall skip i drift på sokkelen reduseres fra om lag 20 i dag til 15 i 2030. Vi har videre forutsatt at man på nye skip med integrert VOC-håndteringsteknologi kan oppnå en gjennomsnittlig gjenvinningsgrad på 95 % for nmVOC og 75 % for metan, mens man på dagens skip gjennomsnittlig oppnår ca. 75 % gjenvinning av nmVOC og ca. 50 % gjenvinning av metan.

Tiltakskostnadene ved å erstatte de skipene som opererer på sokkelen i dag med nye skip er estimert av Miljødirektoratet ut fra informasjon som bl.a. er innhentet fra teknologileverandører. For å kompensere for eventuelle uforutsette kostnadsøkninger, har vi i beregningene benyttet noe høyere investeringskostnader enn de anslagene som er innhentet fra teknologileverandører.

Vi har lagt følgende forutsetninger til grunn i kostnadsberegningene:

- Når en skytteltanker som per i dag har "passiv teknologi" (KVOC/økt tanktrykk) tas ut av drift og erstattes med et skip med ny og forbedret VOC-håndteringsteknologi, er marginal investeringskostnad satt til 100 millioner og årlig marginal driftskostnad til 0 kr.
- Når en skytteltanker som per i dag har "aktiv teknologi" (dvs. ettermonterte kondensasjonsanlegg/ absorbsjonsanlegg) tas ut av drift og erstattes med et skip med ny VOC-håndteringsteknologi, er marginal investeringskostnad satt til 0 kr, og årlig marginal driftskostnad til minus 5 millioner kr.
- Gjenvunnet kondensat fra avdampet nmVOC er i beregningene verdsatt til 3,3 kr/kg mens gjenvunnet metan er verdsatt til 2,3 kr/kg. Dette tilsvarer henholdsvis en forventet råoljepris på 435 kr/fat og en forventet naturgasspris på 1,9 kr/Sm³ fra 2014 (Nasjonalbudsjettet for 2013).

Det er betydelig usikkerhet i utslippstallene som ligger til grunn for framskrivningene fram til 2030, og dermed skaleringen av tiltakene, siden utslippstallene i stor grad er beregnet ut fra gamle utslippsfaktorer. For å forbedre utslippstallene, etableres det nå et omfattende måle- og

beregningsprogram som omfatter alle lastepunkter på norsk sokkel. Resultater av dette forventes å foreligge i løpet av 2014.

Videre er det usikkerhet knyttet til aktivitetsnivået på norsk sokkel fram mot 2020 og hvilke utbyggingsløsninger som velges for nye felt (rørledning eller skipstransport av råolje). Det at de aktuelle tekniske løsningene ikke er tatt i bruk i full skala per dags dato, tilsier også usikkerhet mht. kostnader.

Tiltak 2: Partikkelfilter på mobile rigger

Med mobile rigger menes her borerigger, floteller (boliginnretninger) og brønnintervensjonsskip. Innretningene benyttes hovedsakelig i forbindelse med leteboringer og produksjonsboringer. Totalt 42 mobile rigger var i aktivitet på norsk sokkel i 2012, mens 51 er godkjent for bruk på norsk sokkel per i dag. Flere nye rigger er under bygging og planlegging. Utslippene av BC fra dieselmotorer på flyttbare innretninger offshore utgjør ca. 21,3 prosent av totalt utslipp av BC fra petroleums-sektoren.

Mobile rigger er typisk utstyrt med 4-8 dieselmotorer som benyttes til å dekke energibehov til framdrift, boring og andre formål ombord på riggen. Antall motorer som er i drift, tilpasses energibehovet. For mobile rigger som ligger med anker, vil det typisk være behov for 4 motorer på tilsammen 8-10 MW, mens det for rigger som benytter dynamisk posisjonering (DP-rigger) vil det være behov for 6-8 motorer på tilsammen ca. 40 MW.

Tiltaket innebærer både installering av partikkelfilter på alle nye mobile rigger som benytter dieselmotorer som hovedgeneratorer og som settes i drift på norsk sokkel fra og med 2018 og ettermontering av partikkelfilter på alle eksisterende rigger innen utgangen av 2023.

I beregningene av oppnåelige utslippsreduksjoner, har vi forutsatt at 42 rigger vil være i drift på sokkelen i 2030. Dette er om lag samme antall som i dag. Gjennomsnittlig total motorkapasitet per rigg er satt til 25 MW (ytelse) og rensegraden er satt til 85 % (Hustad, 2013). Det forutsettes at partikkelfiltre kan ettermonteres på motorer på riggene uten at riggene tas ut av drift. Vi har ellers lagt følgende forutsetninger til grunn for kostnadsberegningene:

- Gjennomsnittlig investeringskostnad for innkjøp og montering av partikkelfilter er satt til 808 kr/kW (Stuer-Lauridsen m. fl., 2012)
- Tekniske levetid for partikkelfiltrene er satt til 10 år
- Installering av partikkelfiltrene medfører ingen økning av driftskostnader

Installering/ettermontering av partikkelfilter er også vurdert som et aktuelt tiltak for å redusere utslipp av BC fra skip. Dette er nærmere omtalt i sektornotatet for transport.

Tiltaket vurderes å kunne ha en positiv helseeffekt forbundet med redusert eksponering for partikler/svart karbon om bord på riggene, uten at dette kan kvantifiseres. Verdsettingsfaktor for helseeffekten av utslippsreduksjonene er satt til 0. Miljøeffekten av tiltaket er liten.

Siden man ikke har erfaringer med drift av partikkelfilter på mobile rigger på norsk sokkel per i dag, er det knyttet betydelig usikkerhet til beregnede reduksjonspotensialer og kostnader.

Motortype, tilgjengelig plass, vekthensyn, sikkerhetsmessige hensyn etc. kan nødvendiggjøre tilpasninger på den enkelte rigg som har betydning for både renseeffekt og kostnader. Dersom det skulle vise seg at partikkelfilter ikke kan ettermonteres på enkelte rigger under ordinær drift (f.eks. på DP-rigger), vil tiltakskostnadene kunne bli høyere enn beregnet. Det er også usikkerheter mht.

vedlikeholdsbehov og hvorvidt filtrene vil kunne medføre økt drivstoffbehov (kapittel 5.4.2 om økning i drivstofforbruk).

Vi ser at det er en trend mot økt bruk av LNG (gass) som drivstoff i Norge, jf. prosjekter som det er gitt støtte til gjennom NO_x-fondet. På rigger med gassdrift eller kraftoverføring, er montering av partikkelfilter ikke aktuelt.

Mulige virkemidler

Krav i tillatelser etter forurensningsloven

Kravstilling etter forurensningsloven skal som en hovedregel være basert på hva som er å regne som BAT. Nasjonale forurensningsmyndigheter kan imidlertid fastsette krav som er strengere enn BAT dersom det foreligger andre særlige grunner for dette, for eksempel hvis det er nødvendig for å oppfylle internasjonale forpliktelser eller ivareta lokale miljøhensyn.

Tiltak 1 (Økt gjenvinning av metan og nmVOC ved råoljelasting offshore) kan utløses ved å innskjerpe gjeldende utslippskrav i operatørens tillatelser etter forurensningsloven. En slik innskjerping vil eventuelt innebære at kravene blir strengere enn det som til nå har vært regnet som BAT-nivå, og også strengere enn i andre land, og må derfor avveies opp mot hensyn til konkurransemessige forhold.

Tiltak 2 (Partikkelfilter på mobile rigger) kan også utløses ved å stille krav med hjemmel i forurensningsloven, enten til operatørene av petroleumsfeltene som leier inn riggene, eller til riggeierne direkte.

Krav med hjemmel i forurensningsloven kan også tenkes brukt for å utløse ytterligere tiltak, jf. omtale av reduksjonsmuligheter 1-10 ovenfor. Mange av utslippene som er omtalt under disse reduksjonsmulighetene er per i dag ikke regulert spesifikt.

En effektiv regulering forutsetter at kunnskapsgrunnlaget om utslippsnivåer, reduksjonsmuligheter og reduksjonspotensial, er tilstrekkelig. Usikkerheten i utslippstall og med hensyn til reduksjonsmuligheter anses for å være spesielt stor for diffuse utslipp og kaldventilering av metan og nmVOC offshore og for utslipp av BC fra fakling. For å tette kunnskapshull, kan det gis pålegg med hjemmel i forurensningsloven.

Kravstilling med hjemmel i forurensningsloven vil være et styringseffektivt virkemiddel. For å gi muligheter for å gjennomføre tiltakene på en kostnadseffektiv måte, vil det være viktig å gi virksomhetene tilstrekkelig tid til planlegging og gjennomføring.

Krav i forskrift

Tiltakene kan også utløses ved å fastsette krav i forskrift til skytteltankere og rigger som opererer på norsk sokkel. Kravene kan tenkes utformet etter modell fra avgasskravene til kjøretøyer, dvs. at det stilles krav til utslipp av utvalgte utslippskomponenter som er knyttet opp mot ytelsen til anlegget/motoren. I en overgangsperiode kan det eventuelt fastsettes separate krav til nye og eksisterende skip.

Hvis man velger å benytte virkemidler som retter seg direkte mot hvordan skip og rigger er bygd og utrustet, kan det vurderes om disse kravene bør rettes direkte mot tankrederne - og ikke mot operatørene av lastepunktene slik tilfellet er i dag.

Offentlig støtte

Teknologien som forutsettes brukt for å redusere metan- og nmVOC-utslipp under råoljelasting er tilgjengelig per i dag, men er ikke tatt i bruk på skytteltankere som opererer på norsk sokkel. Det kan vurderes om offentlig støtte, eventuelt kanalisert gjennom et tiltaksfond, kan være et egnet virkemiddel for å få dokumentert effekten av teknologien i full skala på ett eller et fåtall skip, for dermed å påskynde gjennomføring av tiltaket.

Avgift, evt. i kombinasjon med et tiltaksfond

Avgift på utslipp av kortlevde klimadrivere kan tenkes brukt som et selvstendig virkemiddel eller i kombinasjon med et tiltaksfond som omtalt i kapittel 5.7.

5.1.3. Andre reduksjonsmuligheter

Det finnes flere muligheter for utslippsreduksjoner utover de to utredete tiltakene. Dette gjelder i hovedsak BC, metan og nmVOC fra ulike kilder, men kan også ha betydning for utslipp av CO og NOx. Disse reduksjonsmulighetene har vi ikke kunnet kvantifisere som tiltak pga. mangelfullt data- og/eller kunnskapsgrunnlag. Av praktiske grunner har vi gruppert reduksjonsmulighetene som følger:

1. Fakling offshore og ved landanlegg
2. Prosessutslipp offshore - Kaldventilering og diffuse utslipp av metan og nmVOC
3. Prosessutslipp landanlegg - Kaldventilering og diffuse utslipp av metan og nmVOC, inklusive lagring av råolje og petroleumsprodukter
4. Lasting av råolje og petroleumsprodukter ved landanlegg
5. Råoljelagring offshore
6. Stasjonær forbrenning offshore og landanlegg (uforbrente utslipp av metan og nmVOC)
7. Mobile rigger - forbrenning av gass og olje over brennerbom
8. Transport av råolje på skip
9. Mobile rigger - LNG som drivstoff i motorer (alternativ til tiltak 2)
10. Mobile rigger - vann i drivstoff i motorer (alternativ til tiltak 2)

Det er stor usikkerhet i utslippstallene som ligger til grunn for utslippsregnskapet innen deler av sektoren. Dette gjelder spesielt BC-utslipp fra fakling (reduksjonsmulighet 1), utslipp av metan og nmVOC fra kaldventilering og diffuse utslipp offshore (2) og utslipp av uforbrente hydrokarboner (metan og nmVOC) fra stasjonær forbrenning (6). For å forbedre kunnskapsgrunnlaget om utslippenes størrelse og utslippsfaktorer, kan det vurderes å gis offentlige tilskudd til videre undersøkelser siden dette også er av stor betydning for kvaliteten på de nasjonale utslippstallene og framskrivninger.

For å klarlegge om det er teknisk mulig og økonomisk forsvarlig å realisere de tiltaksmulighetene som er identifisert, vil bransjen måtte gjennomføre nærmere vurderinger for de enkelte innretningene og anleggene på land etter pålegg med hjemmel i forurensningsloven.

Fakling offshore og ved landanlegg: Det er nylig gjennomført en studie som omfatter kartlegging av fakkelsystemer, reduksjonsmuligheter og utslippsfaktorer som er i bruk. Tiltaksmulighetene knytter seg bl.a. til økt regularitet i prosessen, forbedring av drifts-/vedlikeholdsprosedyrer og forbedring av strategier for håndtering av ikke-planlagte hendelser.

Studien gir også anbefalinger om revisjon av utslippsfaktorer. Sistnevnte gjelder spesielt BC-faktoren (herunder gjennomføring av målekampanjer for bestemmelse av BC-utslipp under forhold

som er representative for Norge) og utslippsfaktorene for metan, nmVOC og CO som benyttes på sokkelen, som er for lave per i dag.

Kaldventilering og diffuse utslipp offshore: Rapporterte utslipp varierer mye fra felt til felt og anses for å være beheftet med stor usikkerhet. Det vil derfor måtte gjennomføres en nærmere kartlegging av utslippskilder og utslippsmengder, som i neste omgang gjør det mulig å gjennomføre innretningsspesifikke vurderinger av reduksjonsmuligheter og reduksjonspotensialer.

Kaldventilering og diffuse utslipp fra landanlegg: Reduksjonsmuligheter og reduksjonspotensialer vil være anleggsspesifikke. Det bør derfor gjennomføres en nærmere vurdering ved det enkelte landanlegg som del av en oppdatert BAT-vurdering, jf. BAT-konklusjoner i endelig utkast til revidert BREF for raffinerier.

Lasting av råolje og petroleumsprodukter ved landanlegg og omlasting fra skip til skip: Reduksjonsmuligheter og reduksjonspotensialer vil være anleggsspesifikke. Det bør derfor gjennomføres en nærmere vurdering ved det enkelte landanlegg som del av en oppdatert BAT-vurdering, jf. BAT-konklusjoner i endelig utkast til revidert BREF for raffinerier. For omlasting av råolje og petroleumsprodukter fra skip til skip, vil det være behov for å gjennomføre utslippsmålinger som dokumenterer effekten av implementerte gjenvinningstiltak.

Råoljelagring offshore: Ti felt lagrer råolje offshore, enten i FPSO¹¹ og FSO¹². De fleste av disse har installert teknologi som gir høy gjenvinningsgrad og liten avdamping av VOC, men et fåtall felt har fremdeles betydelige utslipp. Utslippene fra disse feltene vil kunne reduseres ved å ta i bruk tilgjengelig teknologi.

Utslipp av uforbrent metan og nmVOC fra stasjonær forbrenning på offshoreinnretninger og landanlegg: Det er behov for å framskaffe sikrere utslippstall, særlig for offshoreinnretninger, før det kan tas stilling til eventuelle reduksjonsmuligheter.

Forbrenning av gass og olje over brennerbom på mobile rigger: Det er behov for å se nærmere på hvilke tekniske, operasjonelle og sikkerhetsmessige barrierer som eventuelt begrenser mulighetene for å ta i bruk metoder som reduserer forbrenning over brennerbom, herunder nedihullstesting, bruk av mer avanserte testseparatorer, dedikerte brønntestingsskip og behovet for robustgjøring av moderplattformer for mottak av brønnstrøm under bore- og brønnaktiviteter.

Transport av råolje på skip fra norsk sokkel til terminaler på land i Norge eller andre land: Utslippene skyldes avdamping av nmVOC og metan fra skipenes lagertanker. Det foreligger ikke pålitelige utslippstall, og utslippene inngår ikke i det nasjonale utslippsregnskapet for Norge. Utslippene kan reduseres bl.a. ved å benytte skip som tåler økt trykk i lagertankene og ved å installere teknologi som reabsorberer avdampet nmVOC og evt. metan i råoljen. På nye skip vil disse teknologiene kunne tas i bruk uten urimelige kostnader. Absorpsjonseenheter kan også ettermonteres på skip.

Mobile rigger - LNG som drivstoff i motorer: Mulig alternativ til installering av partikkelfilter på dieselmotorer (tiltak 2).

¹¹ Floating Production Storage and Offloading

¹² Floating Storage and Offloading

Mobile rigger - vann i drivstoff i motorer: Mulig alternativ til installering av partikkelfilter på dieselmotorer (tiltak 2).

5.2. Industri

Industriektoren omfatter utslipp fra stasjonær forbrenning og prosessutslipp fra punktslippsskilder på fastlandet, inklusive utslipp fra oljeraffineri. Dette inngår i sektoren "Industri og bergverk" i utslippsregnskapet. Tiltaksvurderinger rettet mot stasjonær forbrenning og prosessutslipp fra oljeraffineriene (herunder diffuse utslipp fra prosesser og uforbrente utslipp fra fakler) er av praktiske årsaker beskrevet og vurdert samlet i sektornotatet for petroleum, da aktuelle reduksjonsmuligheter er de samme. Utslippstallene for stasjonær forbrenning og prosessutslipp ved oljeraffineriene inngår kun i industriektorens utslipp.

5.2.1. Utslipp og framskrivninger

Utslipp av kortlevde klimadrivere fra industri er gradvis blitt redusert siden 1990 og var relativt lave i 2011. Utslippene av BC og CO er mer enn halvert siden 1990 som følge av lavere produksjon og forbedret teknologi.

I tonn var utslippene av CO, NO_x og nmVOC størst i 2011. 63 % av nmVOC-utslippene kommer fra oljeraffineri. Tiltaksvurderinger knyttet til oljeraffineriene er omtalt i kapittel 5.1 om petroleumsektoren da reduksjonsmulighetene er de samme som for petroleumsektoren. Resterende nmVOC-utslipp er spredt på mange små kilder fordelt på mange aktører, noe som gjør effektive tiltak krevende å utforme. CO-utslippene er også spredt på svært mange virksomheter, og vi har kun identifisert ett tiltak med vesentlig reduksjonspotensial.

BC-utslippene står for sektorens høyeste utslipp regnet i CO_{2e}(GTP10, Norge). Og kommer primært fra stasjonær forbrenning. Det forventes vekst i produksjonen, men de totale utslippene fra industriektoren forventes å være omtrent på samme nivå som i dag frem mot 2030 på grunn av effektivisering.

5.2.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler

Utrekede tiltak er:

1. Energieffektivisering i industribedrifter innen verkstedsindustri, skipsverft etc. i undersektoren "annen industri" i utslippsregnskapet
2. Ombygging av silisiumkarbidproduksjon fra Acheson til Freilandprosess

Tiltak 1: Energieffektivisering i industri i undersektoren "annen industri" i utslippsregnskapet

Dette er en oppdatering av et tiltak som ble utredet i Klimakur, som etter vår vurdering fortsatt har et potensial for utslippsreduksjoner. Tiltaket inkluderer bedriftene som inngår i undersektoren 2.1.9 "Annen Industri" i utslippsregnskapet. Beregningene baserer seg på en betraktning knyttet til det samlede energiforbruket i denne undersektoren. Tiltaket innebærer reduksjon av svart karbon og er utredet i lys av dette. Tiltaket består i energieffektiviserende tiltak på ventilasjon (behov, ventilasjonsprinsipp, styring og gjenvinning), oppvarming av industriens lokaler, bruk av varmepumper for gjenvinning av energi, tiltak i energisentraler (gjenvinning av spillvarme, røykgass, isolering, kjeldrift, dampsystem, utskiftning av kjeler) og prosessiltak som reduserer termisk energibehov.

Tiltaket har økonomisk levetid på 20 år og tiltaksstartår i 2015. Tiltaket har helseeffekt grunnet reduksjon av BC og NO_x. Verdssettingsfaktorer for tettsteder med mer enn 15 000 innbyggere er benyttet for partikler (462 NOK/kg utslipp) og andre områder for NO_x (52,5 NOK/kg utslipp).

Mulige virkemidler for tiltaket

Deler av tiltaket kan utløses gjennom eksisterende støtteordninger for energieffektivisering gjennom Enova. Utfordringen ligger i å identifisere potensialet ved enkeltbedrifter for å kunne dra nytte av eksisterende støtteordninger, så informasjon er også et viktig virkemiddel for å utløse det fulle potensialet.

Tiltak 2: Ombygging av silisiumkarbidindustri til Freilandprosess

Silisiumkarbidindustrien består av to industrianlegg med produksjon av silisiumkarbid i ovner, Saint Gobain Lillesand og Washington Mills. Tiltaket er et prosessendringstiltak, og forutsetter at prosessombyggingen vil redusere utslippene av CO til null. Freilandprosessen gjør det mulig å samle opp avgassen, slik at CO-gassen kan forbrennes og energigjenvinnes (European Commission, 2007).

Tiltaket har økonomisk levetid på 20 år og tiltaksstartår i 2018. Helse- og miljøeffekt av tiltaket anses å være begrenset.

Mulige virkemidler for tiltaket

Vi vurderer regulering som et effektivt virkemiddel for å gjennomføre tiltaket, men det er behov for å gjøre det i samvirking med andre virkemidler. Den initiale investeringen er stor, og kapitaltilgang kan være et hinder for gjennomføring. En sentral del av vurderingen i regulering gjennom krav i bedriftens tillatelse blir derfor å vurdere tiltakets nytte for samfunnet opp mot kostnadene dersom tiltaket skal gjennomføres. For at tiltaket skal kunne gjennomføres uten for store kostnader for bedriftene det gjelder er det vår vurdering at det vil kreves tilleggsvirkemidler utover krav i tillatelse. Av eksisterende virkemidler kan støtte til energieffektivisering fra Enova være en mulighet som kan lette gjennomføring av tiltaket. Det betinger at tiltaket utformes som et energigjenvinningsprosjekt ved at CO i avgassen utnyttes til energiformål.

5.2.3. Andre reduksjonsmuligheter

Vi har identifisert partikkelfilter som reduserer utslipp av BC fra stasjonær forbrenning som en ytterligere reduksjonsmulighet i industrien, men har ikke hatt tilstrekkelig grunnlag for å kvantifisere dette som et tiltak. Partikkelutslipp fra industrien har to hovedkilder: utslipp fra stasjonær forbrenning og prosessutslipp. Selv om prosessutslippene av partikler langt overgår utslippene fra stasjonær forbrenning (prosessutslippene står for 80 % av utslippene av PM_{2,5} fra industrien), er BC-utslippene høyest fra stasjonær forbrenning.

Vi har identifisert flere reduksjonsmuligheter i industrien, men disse er ikke kvantifisert med reduksjonspotensial og kostnader. Tiltakene er rettet mot reduksjon i utslipp av BC og metan. Disse tiltakene er:

1. Partikkelfilter som reduserer utslipp av BC fra stasjonær forbrenning i industrien. Partikkelutslipp fra industrien har to hovedkilder: utslipp fra stasjonær forbrenning og prosessutslipp. Selv om prosessutslippene av partikler langt overgår utslippene fra stasjonær forbrenning (prosessutslippene står for 80 % av utslippene av PM_{2,5} fra industrien), er BC-utslippene høyest fra stasjonær forbrenning. Partikkelfiltre og støvreanseanlegg i industrien er per i dag som hovedregel satt opp for å redusere utslipp fra de store støvkildene,

prosessutslippene. Miljødirektoratet trenger mer kunnskap om hvilke industribedrifter som har potensiale for å redusere utslipp av partikler fra stasjonær forbrenning for å kunne fastsette et tallfestet rensesepotensial for utslipp fra stasjonær forbrenning i industrien.

2. Reduksjon i metanutslipp fra kullutvinning. Tiltaket kan potensielt eliminere utslippet av metan fra denne kilden. Det innebærer en utslippsreduksjon på ca. 1400-1500 tonn metan per år tilsvarende om lag 1 % av norske metanutslipp i 2011. Oppsamling og energiutnyttelse eller faking av metan er mest aktuelt i Lunckefjellgruven, siden denne gruva skal drives i mange år framover. Tiltak for å samle opp metanutslippene kan både redusere risikoen for eksplosjon i gruva og kan samtidig redusere klimapåvirkningen dersom metangassen forbrennes til CO₂. Metan kan samles opp ved å etablere ventilasjonssystemer som samler opp gassen og fører den til overflaten. Alternativt kan metan hentes ut før selve kullutvinningen starter ved å bore brønner på forhånd på en slik måte at det hindrer metan fra å slippes ut i den aktive gruva senere. Utslippene fra utvinning av kull i Lunckefjell er imidlertid svært lave sammenlignet med utslippsnivået fra metan mange andre steder i verden. Det skyldes at kullforekomsten ligger over havnivået, oppe i fjellsidene og omliggende bergarter er relativt porøse. Metangass har derfor gasset av gjennom millioner av år, og den gjenværende metanmengden er vesentlig mindre enn i forekomster som ligger under havnivå og/eller der omliggende bergarter er mindre porøse (Konsekvensutredningen for Lunckefjell, 2010).

5.3. Oppvarming i husholdninger

Vedfyring i husholdningene har de største utslippene av partikler og kortlevde klimadrivere i sektoren "oppvarming i andre næringer og husholdninger". Derfor er kun tiltak som påvirker utslipp fra vedfyring inkludert i denne analysen.

5.3.1. Utslipp og framskrivning

Utslipp av kortlevde klimadrivere fra sektoren domineres av BC fra vedfyring i husholdningene. Disse BC-utslippene utgjorde 23 % av de nasjonale BC-utslippene i 2011.

BC-utslippene fra vedfyring følger i hovedsak vedforbruket. BC-utslippene var høyest i 2002, som var et kaldere år enn normalt, og har siden avtatt. Det er forutsatt en økning på 1 % per år i vedforbruk i framskrivningene, og utslippene av BC forventes derfor også å øke.

Partikkelutslippene er større fra bruk av gammel ovnsteknologi enn fra ny ovnsteknologi. I forbindelse med rehabilitering av boliger skiftes gamle vedovner ut med nye vedovner, og i alle nybygg er det selvfølgelig ny rentbrennende ovnsteknologi som installeres. Ifølge framskrivningene vil det være rundt 350 000 gamle vedovner igjen i Norge i 2030. Tiltakene som er utredet i denne rapporten, vil kunne redusere dette antallet til ca. 200 000 i 2030.

I 2011 fantes det rundt 1,3 millioner vedovner og peiser i norske husholdninger. SSB anslo at rentbrennende ovner sto for halvparten av energibruk av ved i husholdningene i 2011, dvs. tilsvarende 700 000 tonn ved eller ca. 14 PJ levert energi (SSB, 2013).

For vedfyringsutslipp er det spesielt viktig å merke seg at andelen organisk karbon i partiklene BC er inneholdt i, er høy. Mesteparten av de nasjonale OC-utslippene (83 %) stammer fra vedfyring. Det høye innholdet av OC, som har en avkjølede effekt, reduserer den samlede klimaeffekten av vedfyringstiltak vesentlig.

5.3.2. Utrede tiltak og mulige virkemidler

Ettersom vedfyring er den dominerende utslippskilden i sektoren, har vi utredet tiltak rettet på å redusere utslippene fra vedfyring. To av disse er ikke-overlappende tiltak og er inkludert i kostnadskurven i denne rapporten. Disse tiltakene er:

1. Forsert utskifting av gamle vedovner til nye vedovner og pelletskaminer
2. Bedret fyringsteknikk, ettersyn og vedlikehold av nye vedovner

Det er også utredet to andre tiltak som overlapper med tiltak 1, hhv. *forsert utskifting til nye vedovner* og *forsert utskifting til nye pelletskaminer*. Disse er beskrevet nærmere i sektornotatet i Sektorrapporten. Den største klimaeffekten oppnås derfor dersom hele den forserte utskiftingen skjer ved utskifting til nye pelletskaminer. Det er usikkerhet knyttet til hvorvidt dette er realistisk. Vi har derfor valgt å presentere tiltaket hvor den forserte utskiftingen skjer til både vedovner og pelletskaminer (se mer under tiltaksbeskrivelsen og sektornotatet i Sektorrapporten).

Alle de utredete vedfyringstiltakene kan justeres ved å gjøre dem mer eller mindre ambisiøse i omfang. Omfanget vil til syvende og sist avgjøres av størrelsen på virkemidlene som settes inn, samt om det er andre drivere som vil påvirke utviklingen av både referansebanen (det vil si framskrivningene av utslippene uten ytterligere virkemidler) og respons på virkemidler, for eksempel pris på pelletskaminer og endring i strømpriser.

Tiltak 1: Forsert utskifting av gamle vedovner til nye vedovner og pelletskaminer:

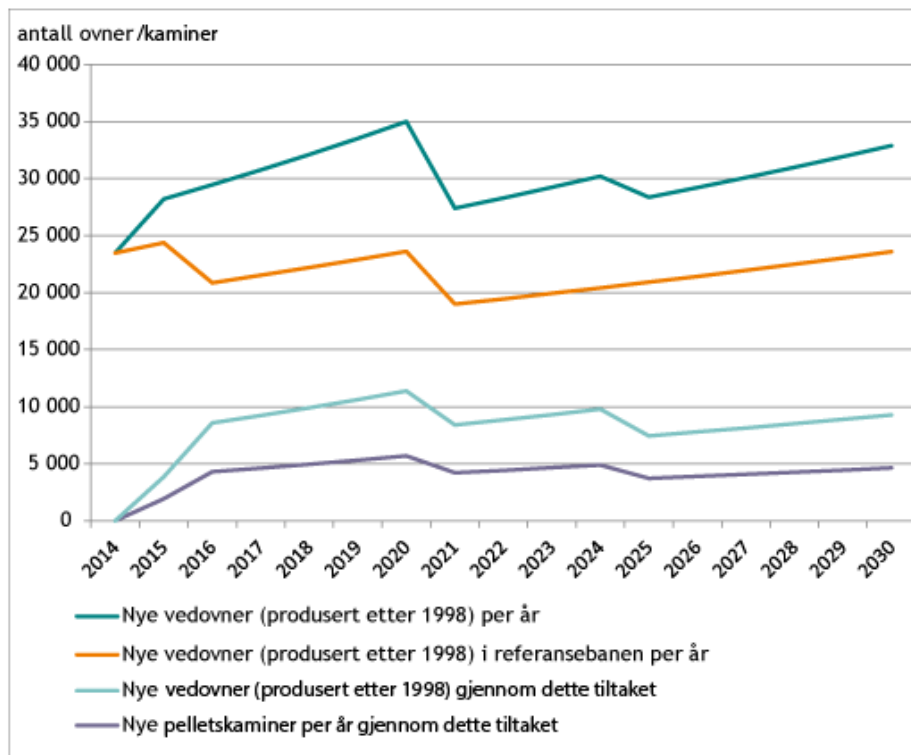
Alle nye ovner som installeres i dag, vil være rentbrennende ovner, slik at det uansett skjer en årlig utskifting fra gammel til ny teknologi når boliger renoveres eller bygges nytt. Dette tiltaket omfatter utfasing og erstatning av ytterligere gamle vedovner per år til ny rentbrennende ovnsteknologi utover det som er antatt vil skje "av seg selv" og som er tatt med i framskrivningen. Tiltaket omfatter at 140 000 gamle vedovner er blitt erstattet med 70 000 vedovner med ny teknologi (50 prosent av potensialet) og 70 000 pelletskaminer (50 prosent av potensialet) i 2030. Den naturlige utskiftingen i samme periode forventes å være om lag 400 000 ovner som i hovedsak antas å være nye vedovner. Den forserte andelen pelletskaminer utgjør dermed 13 % av det totale antallet skiftede vedovner i perioden.

Tabell 5.1: Forutsetninger direkte tiltakskostnader tiltak 1 i norske kroner (NOK)

Forutsetninger direkte merkostnader tiltak 2 Forsert utskifting til nye vedovner og pelletskaminer					
Kostnader (NOK)	Min	Max	Benyttet verdi	Benyttet verdi (eks. mva.)	
Per enhet nye ovner	5 840	47 990	12 000	9 600	http://www.byggeblog.no/peis-ovn-pipe-brannmur-brensel/pris-pa-installasjon-av-vedovn/
Per enhet nye pelletskaminer	15000	40000	25000	20000	
Installasjonskostnader	3800	6000	4000	3200	

Økte driftskostnader	600	1000	600	480	SINTEF. Driftskostnad pellets (800 kr/år) minus driftskostnad vedovn (200 kr/år)
Energipris ved NOK/TJ (innfyrt)				158 518	57 øre/kWh innfyrt
Energipris pellets NOK/TJ (innfyrt)				146 667	52,8 øre/kWh innfyrt

Figur 5.2 viser en oversikt over antall nye ovner (vedovner og pelletskaminer) per år som en effekt av antall nye vedovner i referansebanen og antall nye vedovner pga. dette tiltaket. Gitt de forutsetningene vi har lagt til grunn i denne tiltaksberegningen, så skal tiltaket fase inn rundt 4500 pelletskaminer per år, samt rundt 4500 nye vedovner årlig utover den utskiftingen som allerede ligger inne i referansebanen.



Figur 5.2: Antall nye vedovner og pelletskaminer per år gjennom dette tiltaket

Tiltaket fører til stor reduksjon av partikler, noe som reduserer helseeffekter. Helsegevinst er beregnet med en verdsettelsesfaktor på 462 kroner/tonn redusert PM_{10} , noe som tilsvarer reduksjon i tettsteder i hele landet. Tiltaket vil imidlertid ha størst effekt om det innføres i tettsteder som har overskridelser av luftkvalitetskriterier på partikler.

Mulige virkemidler for forsert utskifting

Det er allerede eksisterende støtteordninger for å få en overgang til ny rentbrennende ovnsteknologi. Slike støtteordninger kan utvides og styrkes for å få til en forsert utfasing av gammel ovnsteknologi.

Utskifting til pelletsaminer reduserer BC-utslippene mye mer enn utskifting til ny vedovn. En overgang til pelletsamin fordrer antagelig sterkere virkemidler enn de vi har erfaring med til nå. Fordelene med pelletsaminer er at de er rentbrennende, har automatisk matesystem og trenger ikke pipe (men bare en avtrekksvifte). Til tross for dette har pelletsteknologi ikke slått gjennom på det norske markedet (Lillemo m. fl., 2013). Noen forklaringer kan være at det ikke er en tilstrekkelig profesjonalisert markedsføring eller forhandlerledd for pellets og at "billige" og dårlige løsninger har gitt pellets et dårlig rykte. Det er viktig å understreke at vi forutsetter at 50 % av den forserte utskiftingen skjer ved skifte til pelletsaminer. Den forserte andelen pelletsaminer utgjør 13 % av det totale antallet skiftede vedovner i perioden.

I rammen av EUs Økodesigndirektiv pågår det i 2013 et arbeid for å utarbeide forordninger for energimerking og økodesign for lokal romoppvarming (ENER Lot 20) som setter minimumskrav til partikler, NO_x, OC og CO fra blant annet vedovner og pelletsaminer. Slik saken står i begynnelsen av oktober 2013 er at det fortsatt en del uklarheter knyttet til målemetoder og grenseverdier som må diskuteres og avklares, og som gjør fremdriften av direktivet usikker. Men slik det ligger an nå, vil utslippskravene bli satt strengere enn dagens krav og påvirke effekten av dette tiltaket ved at utslippspotensialet reduseres.

Tiltak 2: Bedret fyringsteknikk, ettersyn og vedlikehold

Tiltaket omfatter opplæring i bedre fyringsteknikk samt systematisk ettersyn og vedlikehold av nye vedovner. Dette tiltaket vil være mest kostnadseffektivt om det gjennomføres i tettbygde strøk, hvor verdsetting av helseeffekten av reduserte partikkelutslipp er størst (verdsettingsfaktor på 462 kroner/kg PM10) samt at en effektiv gjennomføring av vedlikeholdet kan gjennomføres pga. kortere avstander mellom husstandene. Vi har her antatt et totalt antall vedovner som bør inngå i en slik ordning, på rundt 150 000. Tiltaket er skalert slik at det innføres med et omfang på 6 % av nye vedovner hvert år, samt at ovnene må gjennomgå på nytt hvert fjerde år. noe som betyr at tiltaket vil omfatte rundt 700 000 nye ovner i 2030, eller rundt 200 000 ovner per år. Antall nye ovner øker i henhold til referansebanen hvert år, og dermed blir det en økning i tiltakets omfang fra år til år.

Det er gjort følgende forutsetninger for kostnadene:

Tabell 5.2: Antall nye vedovner og pelletsaminer per år som effekt av tiltaket

Forutsetninger direkte merkostnader tiltak 3					
Bedret fyringsteknikk - vedlikehold					
	Min	Max	Benyttet verdi	Benyttet verdi (eks. mva.)	Type kostnad
Investering - Opplæring 2 timer	1000	2000	1600	1280	Engangs-kostnad
Lønnskostnader - teknisk vedlikehold 2 timer hvert 4 år	200	600	400	320	Årlig kostnad
Forbruksmaterieill	100	300	200	160	Årlig kostnad

Tiltaket har helseeffekter på grunn av reduksjon av svart karbon/partikler. Miljøeffekten anses å være liten.

Mulige virkemidler for tiltaket

Dette tiltaket kan gjennomføres gjennom administrative og økonomiske virkemidler som for eksempel kan innebære statlige retningslinjer og overføring av midler for å øke aktiviteten hos feiervesenet i de kommunene der en ønsker gjennomføring av tiltaket.

Informasjonsrettede tiltak hos blant annet forhandlere, kommuner og statlige myndigheter om hva som er riktig fyring, og hva som må til for å fyre med minst mulig utslipp. For å få utløst den utslippsreduksjonen som er gitt i tiltaket slik det er dimensjonert i denne rapporten, betyr det en økt årlig investering fra 110 millioner kroner de første årene til over 330 millioner mot 2030.

Slik tiltaket er skalert her, er det antagelig litt for omfattende i antall. Om et slikt tiltak skal gjennomføres, bør det derfor gjennomføres en grundigere studie for å se på en optimal organisering av arbeidet, for å kunne redusere kostnader og optimalisere utslippsreduksjonene.

5.4. Transport

Transportsektoren omfatter person- og godstrafikk på vei, innenriks luftfart (luftfart mellom flyplasser i Norge), innenriks trafikk (trafikk mellom norske havner) av skip og båter i tilknytning til havner, jernbane, snøscootere, traktorer, anleggsmaskiner og øvrige motorredskaper bl.a. i skogbruk, jordbruk, forsvar, bygg- og anleggsvirksomhet. Disse kildene er inkludert i "Veitrafikk" og "Luftfart, sjøfart, fiske, motorredskaper m.m." når Miljødirektoratet og Statistisk sentralbyrå presenterer utslippsregnskapet.

5.4.1. Utslipp av kortlevde klimadrivere

Utslipp fra veitrafikk har hatt en betydelig nedgang fra 1990 til 2011 og forventes å bli redusert også framover mot 2030. Hovedgrunnen til dette er strengere krav til eksosutslipp fra nye kjøretøy (Euro-klassene) og overgang til mer energieffektive kjøretøy. Dette har redusert og vil redusere utslippene av BC og CO som er de to kortlevde klimadriverne som bidrar mest innen veitrafikken. Fra 2014 vil nye biler måtte innfri enda strengere krav gjennom Euro6, og utslippene av BC, CO, samt også nmVOC vil gå ytterligere ned pga. dette.

Utslipet fra luftfart, sjøfart, fiske og motorredskaper har hatt en svak økning i perioden 1990-2011 og forventes å fortsette denne utviklingen. BC-utslipp fra ikke-veigående kjøretøy som bygg- og anleggsmaskiner, står for den største andelen av disse utslippene.

5.4.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler

I transportsektoren ble reduksjonspotensialet vurdert å være størst for BC. CO- og nmVOC-utslipp er allerede kraftig redusert og vil bli ytterligere redusert pga. strengere avgasskrav i veitrafikken. Utrekede tiltak er derfor primært rettet mot å redusere utslippene av svart karbon. Målt i CO_{2e}(GTP10, Norge) dominerer BC-utslippene i transportsektoren.

Tiltakene som er vurdert kan grovt deles inn i to kategorier:

1. Rensing av utslippene
2. Bytte av motorteknologi

En tredje kategori kunne ha vært reduksjon i trafikkarbeidet for veigående kjøretøy. Dette har kun blitt delvis utredet i denne sammenhengen. I stedet vises det til andre utredninger (f.eks. Madslien m.fl. 2010) som har sett på effekter av ulike måter å skalere og kombinere virkemidler på innfor areal- og transportplanlegging.

Tiltakskategori 1: Rensing av utslippene

Rensing av utslippene innebærer i hovedsak å montere partikkelfilter på ulike eldre kjøretøy/maskiner. Dette vil redusere utslipp av svart karbon, samt den samtidig avkjølede komponenten organisk karbon. Samtidig vil partikkelfilteret øke drivstofforbruket noe. Denne effekten er ikke kvantifisert i beregningene.

Kjøretøykravene og kravene i Forskrift om maskiner setter utslippskrav til nye kjøretøy og motorer, slik at den naturlige utskiftingen av bil- og maskinparken vil redusere utslippene over tid. Vi har ikke utredet tiltak rettet på å forsere den naturlige innfasingen av kjøretøy/maskiner med strengere utslippskrav. Det er imidlertid fortsatt et stort antall kjøretøy/maskiner i bruk i dag som ikke har partikkelfilter. Det er utredet en ettermontering av partikkelfilter på lette dieselskjøretøy, tunge dieselskjøretøy, bygg- og anleggsmaskiner, traktorer, kystfartøy og fiskebåter. Tiltaket vil være mest lønnsomt på kjøretøy som

- a) har høye utslipp før montering av filteret
- b) har mange år levetid igjen/skal kjøres mange km til
- c) skal benyttes mye i tettbebygde strøk/byer

Ettermontering av partikkelfilter på lette kjøretøy: Det finnes rundt 870 000 dieselsbiler uten partikkelfilter i bruk i Norge i dag, noe som tilsvarer nesten 60 % av dieselsbilene (personbiler og andre lette kjøretøy). I beregningene er det forutsatt en gjennomsnittlig levetid på bilene på 15 år, en kostnad for ettermontering på 10 000 kr/filter og en rensegrad på 90 %. Det er forutsatt at tiltaket fases inn i løpet av 6 år, det vil si at alle dieselsbiler i 2020 har et partikkelfilter. Hver bil som har ettermontert filter antas å kjøre i snitt i 6 år til. Reduksjonen av PM10-utslippene er verdsatt med 1722 kr/kg PM10 for å ta høyde for at utslippene skjer både på landeveiene og i tettbygde strøk. Den største usikkerheten ved beregningen av kostnadseffektiviteten av tiltaket er knyttet til utslippsreduksjonen per bil som får ettermontert et filter. Kostnadseffektiviteten blir i stor grad påvirket av hvor mange kilometer bilen skal kjøre etter at filteret er montert. Vi vet at eldre biler i gjennomsnitt kjører færre kilometer per år enn nye biler. Det er mulig at beregningene ikke fanger denne forskjellen mellom eldre og nyere dieselsbiler godt nok opp, det vil si at utslippsreduksjonen kan være noe overvurdert. Det er ikke lagt inn en kostnad knyttet til utskifting av det ettermonterte filteret fordi det antas at bilen vrakes før filteret trenger å skiftes. Det er heller ikke lagt inn en kostnad knyttet til et noe høyere drivstofforbruk pga. partikkelfilteret.

I tillegg er det en viss bekymring knyttet til hvorvidt partikkelfilter øker NO₂-andelen av NO_x-utslippene og dermed har den uønskede bieffekten å øke NO₂-nivåer i byene. NO₂-utslippet påvirkes av bl.a. kjøremønster og motorteknologi og varierer mellom ulike kjøretøymerker. Det er usikkert hvor stort dette problemet er (se AVL Motortestcenter, 2008 og (Carslaw og Rhys-Tyler, 2013) og hvordan utviklingen vil være når sammensetningen av bilparken endres (Hagman, 2013).

Ettermontering av partikkelfilter på tunge kjøretøy: Det finnes rundt 330 000 tunge dieselskjøretøy uten partikkelfilter i Norge i dag; dette tilsvarer rundt 85 % av de tunge dieselskjøretøyene. Kostnaden for ettermontering av partikkelfilter på tunge kjøretøy er betydelig høyere enn på lette kjøretøy. Vi har benyttet en kostnad på 80 000 kr /filter for tunge kjøretøy vs. 10 000 kr/filter på lette kjøretøy (Hagman, 2008). I tillegg er levetiden for tunge kjøretøy kortere fordi kjøretøyene har et annet bruksmønster enn privatbiler (kjører mange flere kilometer per år). Vi har valgt å legge oss på en gjennomsnittlig levetid på 10 år for tunge kjøretøy. Dette gjør at tiltaket må

gjennomføres på kortere tid (innfasing over 4 år), samtidig som kjøretøyene skrotes raskere. Derfor vil ettermonteringen av filteret kun gi utslippsreduksjoner i noen få år. I beregningene er det lagt inn en verdsettingsfaktor for PM10 på 462 kr/kg, noe som tilsvarer kjøring i tettsteder med >15 000 innbyggere, siden relativt mange av kilometerne antas å bli kjørt utenfor de største byene. Nyere informasjon fra Tyskland (www.dieselpartikelfilter.net/_Greencar- Bundesweite Nachrüstung von Dieselpartikelfiltern für PKW+LKW) kan tyde på at vi har anslått en for høy kostnad knyttet til ettermontering av partikkelfilter på tunge kjøretøy. I tillegg er det ikke lagt inn en kostnad knyttet til et noe høyere drivstofforbruk pga. partikkelfilteret, eller en effekt av eventuelle høyere NO₂-utslipp (se omtalen av partikkelfilter på personbiler).

Ettermontering av partikkelfilter på dieseldrevne motorredskaper: Dieseldrevne motorredskaper (ikke-veigående kjøretøy) har et relativt høyt og økende utslipp av BC. Sektoren omfatter blant annet bygg- og anleggsmaskiner, landbruksmaskiner/traktorer og ulike dieseldrevne maskiner som brukes i industrien. Antallet anleggsmaskiner har økt med rundt 60 % i perioden 1990-2011. Det finnes lite data om fordelingen av utslippet på ulike kilder innenfor sektoren. Basert på salgstall av anleggsdiesel som er registrert på næringskoder, kan vi anslå at rundt 35 % av utslippet kommer fra bygg- og anleggsmaskiner, mens rundt 30 % stammer fra traktorer og andre landbruksmaskiner. De resterende utslippene kommer fra ulike industrielle maskiner samt en relativ stor "ukjent"-sektor. De to sistnevnte kategoriene omfattes ikke av dette tiltaket (se sektornotat for detaljer).

I følge statistikken fantes det rundt 32 000 anleggsmaskiner (Kvaal, 2011) i Norge i 2011. Vi har i beregningene forutsatt at det er mulig å ettermontere et partikkelfilter på 80 % av maskinene innen 2030. Kostnaden for partikkelfilteret er satt til 80 000 kr/filter med en rensegrad på 93 %. Verdsettingsfaktoren til dette tiltaket er satt til 462 kr/kg PM10 (tilsvarer utslipp i tettsteder med >15 000 innbyggere, siden mye byggeaktivitet foregår i tettbebygde strøk, men utslipp stammer også fra mye veibygging i folketomme områder).

Totalt finnes det i 2011 rundt 225 000 registrerte traktorer i Norge (SSB statistikkbanken). Vi har antatt at det er mulig/hensiktsmessig å ettermontere et partikkelfilter på bare 40 % av maskinene, siden vi forventer at et stort antall av traktorene brukes relativt lite. Det er ikke verdsatt en helsegevinst på grunn av reduserte PM10-utslipp, siden utslippsreduksjonene forventes å skje utenfor tettbebygde strøk hvor verdsettingsfaktoren er 0 kr/kg tonn (Kapittel 2.12.1). Kostnadene er ellers antatt å være på linje med anleggsmaskinene. Tiltaket er innrettet slik at filtre monteres på en traktor i gjennomsnittlig bruk. Dersom man klarer å innrette tiltaket slik at filtrene kun monteres på de traktorene som brukes mest, vil utslippsreduksjonen være betydelig høyere, slik at tiltakskostnaden reduseres. Det bør vektlegges at filteret skal monteres på maskiner som brukes mye.

Ettermontering og innfasing av partikkelfilter på fiskebåter og kystfartøy: Det finnes totalt rundt 6 200 fiskebåter og 440 kystfartøy i Norge i dag. Tiltaket omfatter fiskebåtene som er større enn 15 m (600 båter) og kystfartøyene som ikke har gassdrift (430 kystfartøy). For fiskebåter og kystfartøy har det ikke vært mulig å finne kostnader for ettermontering av filter sammenlignet med innfasing av partikkelfilter på alle nye båter. Det er anslått en gjennomsnittlig kostnad for montering av partikkelfilter avhengig av motorstørrelse (810 kr/kW, basert på (Stuer-Lauridsen m. fl., 2012)). Det er forutsatt at 50 % av flåten benytter et partikkelfilter i 2030 og at rensegraden ligger på 85 %. Filteret skiftes etter 10 år. Det er usikkert om teknologien er moden for en hurtig innfasing og om det er mulig å ettermontere partikkelfilter på alle motorer som benyttes i dag. Bransjen har uttrykt skepsis mot den praktiske gjennomførbareheten på grunn av plassmangel om bord på skipene, mens tiltaket ble innført for alle skip i Sveits i 2007 (FOEN, 2012).

Utfordringer forbundet med partikkelfilter

Installering av et partikkelfilter vil kunne øke drivstofforbruket noe. Basert på flere kilder, anslår vi økningen å være i størrelsesorden 3-8 %, bl.a. Rutland m. fl. (2009). Dette vil gi en liten økning i CO₂-utslippene, samt økte drivstoffkostnader. Dette er ikke inkludert i beregningene. Det er imidlertid gjort en følsomhetsanalyse som er beskrevet i kapittel 6.2.3. Følsomhetsanalysen er gjort på lette personbiler og viser en reduksjon i klimaeffekten på 8 % og rundt 40 % reduksjon i kostnadseffektiviteten.

Partikkelfilter gir generelt en helsefordel pga. reduserte partikkelmengder (og BC-mengder). Imidlertid vil partikkelfiltre også kunne gi en liten økning i utslipp av NO₂. Dette vil redusere helsegevinsten av partikkelreduksjonen noe. Denne effekten er ikke inkludert i beregningene. Dette er relevant for de tre tiltakene som er tenkt utført i tettbygde strøk, nemlig *Ettermontering av partikkelfilter på lette kjøretøy*, *Ettermontering av partikkelfilter på tunge kjøretøy* og *Ettermontering av partikkelfilter på anleggsmaskiner*. I flere norske byer er det et problem at grenseverdiene for NO₂ tidvis overskrides (Figur 2.11.3) slik at disse tiltakene potensielt kan forverre denne situasjonen. Vi antar at tiltakene vil gi netto helsegevinst, men det bør gjøres ytterligere utredninger for å vurdere dette før tiltakene eventuelt igangsettes (Kapittel 6.2.3).

Mulige virkemidler for rensing av utslipp

For å få ettermontert filter på dieselmotorene i de ulike sektorene er det mulig å innføre krav og/eller støtteordninger. Det er også mulig å avgiftsbelegge kjøretøyene/fartøyene som ikke har partikkelfilter, eller gi en avgiftslettelse for kjøretøyene som har et partikkelfilter.

Spesielt på tiltakene ettermontering av partikkelfilter på personbiler, tunge kjøretøy og bygg- og anleggsmaskiner øker lønnsomheten betraktelig dersom tiltaket innføres i store byer på grunn av den positive helseeffekten.

Ved å innføre lavutslippssoner i de største byene vil man kunne tvinge frem en ettermontering eller en raskere utskifting av kjøretøyparken. Siden det offentlige er en stor innkjøper av bygg- og anleggstjenester (veibygging og offentlige bygg), kan et effektivt virkemiddel være å etterspørre partikkelfilter på maskinene der dette er tillatt i henhold til anskaffelsesregelverket for offentlige innkjøp. Alternativt kan det innføres krav, for eksempel om at alle dieseldrevne maskiner som skal benyttes i større byer må ha et partikkelfilter. En slik innretting av virkemiddelet vil kunne utløse ettermontering av partikkelfilter der det er mest samfunnsøkonomisk lønnsomt: i tettbebygde strøk/store byer. Kravet kan kombineres med en støtteordning. Et slikt virkemiddel burde utredes nærmere før innføring for å sikre at forutsetningene som er lagt til grunn i denne utredningen er nøyaktige nok.

Bruk av partikkelfilter på veigående kjøretøy er en moden og velutprøvd teknologi mens bruken av partikkelfilter på anleggsmaskiner og traktorer ikke er like utbredt. På de sistnevnte kjøretøyene er det derfor mulig at det kreves noe FoU for å få tilpasset filtrene til de ulike maskinene og arbeidsbetingelsene.

Partikkelfilter på skip er en lite prøvd teknologi. Det er uklart om montering av partikkelfilter på skip er praktisk mulig og tallgrunnlaget er usikkert. For å utløse tiltaket mener vi derfor at det burde satses på FoU, for eksempel ved å gi støtte til noen pilotbåter der utslipp overvåkes over noen år.

Tiltakskategori 2: Bytte av motorteknologi

Bytte av motorteknologi vil i hovedsak innebære et skifte fra dieselmotorer til gassmotorer når man ønsker å redusere partikkelutslippene. Det er også mulig å tenke seg en overgang til elektriske motorer, men tiltaket er ikke utredet i denne rapporten. Datagrunnlaget for elektrifisering av for eksempel anleggsmaskiner og skip er mangelfullt på grunn av at teknologien er lite utprøvd.

Overgang til gassdrift for skip har kun blitt delvis utredet i denne rapporten fordi foreløpige beregninger viste at tiltaket samlet sett gir en oppvarmende effekt målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Grunnen til dette er at utslipp av uforbrent metan i eksosen mer enn oppveier den avkjølede effekten av reduserte BC-utslipp. Det er usikkert i hvor stor grad utslippet av metan eventuelt kan minskes gjennom teknologiske forbedringer i fremtiden. Kostnadseffektiviteten for dette tiltaket er derfor ikke beregnet.

Det er derimot utredet et tiltak for å få noe av tungtransporten til å bytte ut dieselmotorene med gassmotorer som bruker biogass. Tiltaket går ut på å fase inn nye gassbusser istedenfor nye dieselbusser fram mot 2030, og bruke biogass produsert av våtorganisk avfall eller husdyrgjødsel til å drive bussene. Mengden biogass som er brukt i beregningene (990 GWh/år fra våtorganisk avfall og 745 GWh/år fra husdyrgjødsel) er potensialet for biogassproduksjon som har blitt anslått i (Klif, 2013a). Tiltaket er overførbart til andre tyngre kjøretøy som benyttes på relativt faste ruter i store byer (for eksempel distribusjonskjøretøy). Biogass som brukes i transportsektoren istedenfor diesel vil både redusere utslipp av CO_2 , BC/partikler og NO_x , men gir et lite utslipp av uforbrente hydrokarboner (metan) fra motoren.

Mulige virkemidler for bytte av motorteknologi

For å utløse økt bruk av biogass i transportsektoren er det mulig å innføre en støtteordning til tankstasjoner som selger biogass, med en støtte per kWh biogass som selges. Det kan være hensiktsmessig å avgrense støtteordningen til de største byene i Norge for å redusere tiltaks-kostnaden. Støtten forventes å føre til bedriftsøkonomisk lønnsomhet ikke bare i anvendelsen av biogassen, men også i produksjonen av biogass basert på våtorganisk avfall. Anvendelse av biogass som drivstoff er en moden teknologi, men det eksisterer per i dag lite infrastruktur både for distribusjon og for anvendelse av gassen. Dersom det også er ønskelig å utløse biogassproduksjon basert på husdyrgjødsel kreves det ytterligere virkemidler i produksjonsleddet.

5.5. Jordbruk

Jordbrukssektoren omfatter, som i utslippsregnskapet, animalske produkter som melk, egg og kjøtt, husdyrgjødsel samt jordbearbeiding, bl.a. produksjon av vegetabiliske produkter som gras, korn, poteter og grønnsaker.

5.5.1. Utslipp av kortlevde klimadrivere

Utslipp av kortlevde klimadrivere fra jordbrukssektoren består utelukkende av metan og har gått ned med om lag 11 prosent fra 1990-2011. Hovedparten av metanutslippene kommer fra husdyrenes fordøyelse (87 prosent) og en mindre del - 13 prosent - fra lagring av husdyrgjødsel. Utslipp fra fordøyelsesgasser fra husdyr har blitt redusert i perioden mellom 1990 og 2011, gjennom en effektivisering av spesielt melkeproduksjonen og erstatning av grovfôr med kraftfôr, mens utslipp fra husdyrgjødsel har vært stabil i samme periode.

Fram til 2030 forventes en liten reduksjon av metanutslippene (ca. 5 prosent). I denne offisielle framskrivningen er det forutsatt at produksjon av kjøtt fra drøvtyggere blir på samme nivå, mens

produksjon av melk, samt svine- og fjærfekjøtt vil gå opp i takt med befolkningsøkningen. For melkeproduksjon er det antatt at det blir mindre metanutslipp per produsert liter melk.

Utslipp fra jordbruksmaskiner er dekket under transport (motorredskaper).

5.5.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler

Ettersom utslipp av kortlevde klimadrivere i jordbrukssektoren kun omfatter metanutslipp fra de to kildene husdyrenes fordøyelse eller lagring av husdyrgjødsel, må eventuelle tiltak rettes på disse kildene.

Følgende ikke-overlappende tiltak er utredet:

1. Erstatte produksjon og forbruk av 10 000 tonn norskprodusert storfekjøtt fra ammekyr med norskprodusert grise- og fjærfekjøtt (overgang fra rødt til hvitt kjøtt)
2. Halvere tap av animalske produkter fra hele verdikjeden (reduert spill av mat)
3. Produksjon av biogass fra husdyrgjødsel og anvendelse i buss

Biogass fra våtorganisk avfall er også utredet, men ettersom utslippsreduksjonene primært er forbundet med anvendelse av biogassen i buss, er tiltaket omtalt under transportsektoren.

Følgende tiltak har blitt vurdert for utredning, men ikke utredet som forklart under:

1. Erstatte produksjon av norskprodusert kjøtt fra melkekyr i stedet for ammekyr. Tiltaket vil gi mindre utslippsreduksjoner enn valgt tiltak, samt redusere melkeproduksjonen, til et nivå under antatt forbruk slik at det vil bli nødvendig å importere melk.
2. Erstatte produksjon av norskprodusert storfekjøtt med norskprodusert fårekjøtt: Vil gi metanutslipp i samme størrelsesorden som valgt tiltak, men arealbehovet vil være mindre.
3. Erstatte importert storfekjøtt med norskprodusert lyst kjøtt: Tiltaket vil kun ha effekt dersom det gir produksjonsendringer i utlandet. Det er vanskelig å anslå hvorvidt og hvor dette vil skje, og dersom det skulle skje vil det være svært vanskelig å beregne utslippsreduksjonene ettersom utslippene avhenger av både produksjonsendringer og -forholdene. Tiltaket ligger videre utenfor rammen av dette prosjektet ettersom utslippsreduksjonen fra en eventuell nedgang i produksjon av storfekjøtt ikke vil finne sted i Norge, mens det faktisk vil bli en utslippsøkning i Norge knyttet til økt produksjon av lyst kjøtt.
4. Erstatte produksjon av norskprodusert storfekjøtt med vegetabiliske produkter: Ved en slik endring vil reduksjonspotensialet for utslippene av metan, lystgass og arealbehov være større enn for det utredete tiltaket. Tiltaket antas å ha liten støtte i befolkningen og vil kunne medføre en økt import av storfekjøtt.

Tiltak 1: Erstatte norskprodusert storfekjøtt fra ammekyr med norskprodusert lyst kjøtt (overgang fra rødt til hvitt kjøtt)

Norsk storfekjøtt produseres fra to kilder, nemlig kombinerte melke- og storfekjøttbesetninger og spesialiserte storfekjøttbesetninger (ammekyr). Norge produserer i dag 78 000 tonn storfekjøtt i året (Animalia, 2013). 18 000 tonn eller 23 prosent kommer fra ammekyr (Aass, 2014). Kjøttproduksjon (og forbruk) fra ammekyr er den minst ressurseffektive og mest utslippsintensive produksjon av animalsk mat.

Tiltaket går ut på å erstatte norsk produksjon av 10 000 tonn (56%) storfekjøtt fra ammekyr (inkludert avkommet til ammekua) med 5 000 tonn svinekjøtt og 5 000 tonn fjærfekjøtt per år. Det forutsettes at redusert kjøttproduksjon fra ammekyr ikke erstattes med økt kjøttproduksjon fra melkekyr (og avkom), og at melkeproduksjonen ikke påvirkes av tiltaket. Det forutsettes videre at forbruket av kjøtt endres i takt med produksjonsendringen slik at tiltaket ikke resulterer i økt import av storfekjøtt.

I henhold til tall fra Bioforsk er metanutslippene per produsert enhet kjøtt størst for storfekjøtt fra ammekyr og sau, se

Tabell 5.3. Tallene i tabellen er basert på Norges utslippsregnskap (Klif/SSB, 2013) og viser at utslippene av metan per kilo sauekjøtt er noe lavere enn for ammekjøtt, mens reduksjonen er 97 prosent for svin og 99 prosent for kylling. Det er ikke inkludert uniasonmelkekyr i Tabell 5.1 fordi utslippene fra melkekyr må fordeles på både kjøtt- og melkeproduksjon, og denne fordelingen er ikke blitt utredet her.

Når vi i tiltaket har valgt å erstatte kjøtt fra ammeku med 50 prosent svinekjøtt og 50 prosent kyllingkjøtt, og ikke 100 prosent kyllingkjøtt, så er det for å ha et noenlunde realistisk eksempel. Svin gir dessuten stek, indrefilet, koteletter og lignende som lettere kan erstatte storfekjøtt enn kylling kan. Samtidig får vi anskueliggjort at både utslipp og ressursbruken er spesielt lave ved kyllingkjøtt.

Tabell 5.3: Metanutslipp i 1000 tonn CH₄ ved produksjon av 10 000 tonn kjøtt fra forskjellige dyreslag. Kilde: Bioforsk

	Ammeku (i 1000 tonn CH ₄)	Sau (i 1000 tonn CH ₄)	Svin (i 1000 tonn CH ₄)	Kylling (i 1000 tonn CH ₄)
Fordøyelse	7622	6495	130	21
Gjødsel	782	422	74	150
Sum	8404	6917	280	95
Prosent av utslipp fra ammeku	100 %	82,3 %	3,3 %	1,1 %

Det brukes også vesentlig mindre fôr per produsert kilo gris og spesielt høns enn for storfe; ingen grovfôr og like eller mindre mengder kraftfôr. Ved erstatning av rødt kjøtt med tilsvarende mengder svine- og fjærfekjøtt kan derfor produksjon og/eller import av fôr reduseres. Som følge av dette, vil utslipp av langlevde klimagasser (CO₂ og N₂O) og arealbehov også gå betydelig ned, mest i Norge men også i utlandet. Dette siste skyldes at Norge, ifølge opplysninger fra jordbruksmodellen JORDMOD, importerer omtrent en tredjedel av fôret til produksjon av både storfekjøtt, svinekjøtt og fjærfekjøtt.

Tiltaket er forventet å ha effekt utover analyseperiode fordi nye driftsbygninger er antatt å leve i 30 år. Inventar antas derimot å ha en levetid på 10 år.

Tiltaket er ikke vurdert å ha en helse- eller miljøeffekt forbundet med utslippsreduksjonene. Men det finnes flere studier som indikerer at høyt inntak av rødt kjøtt gir økt risiko for hjerte- og

karsykdommer eller andre sykdommer slik at tiltaket trolig vil kunne redusere slik risiko (Pan m. fl., 2012).

Overgang fra produksjon av storfe til svin og fjærfe kan være mindre gunstig ut fra betraktninger om dyrevelferd. Dette er ikke vurdert i denne rapporten.

Mulige virkemidler for tiltaket

De siste årene har det vært underdekning av norskprodusert storfekjøtt og overskudd av hvitt kjøtt. Underdekningen har vært beregnet til 10 000 tonn som importeres i tillegg til kvoteimporten. I en rapport fra Animalia er det utredet hvordan denne importen kan erstattes med norskprodusert storfekjøtt. Siden denne ekstra produksjonen ikke er bedriftsøkonomisk lønnsom i Norge, forutsettes bl.a. økt støtte til både investeringer og drift (Animalia, 2013). Ifølge Norturas 2013-prognose fra juni 2013, vil det også i 2013 være underdekning av storfekjøtt og overskudd av svinekjøtt (om lag 5000 tonn i året). For å oppnå bedre balanse mellom produksjon og forbruk, har Nortura foreslått å subsidiere nedleggelse av svinekjøttproduksjon. Forslaget skal behandles av Omsetningsrådet i desember. For at tiltaket skal ha ønsket effekt, forutsettes at forbruket endres i takt med produksjonsendringen slik at endringen ikke medfører ytterligere import av storfekjøtt og overproduksjon av svinekjøtt. Den viktigste usikkerheten ved tiltaket ligger derfor i gjennomførbarheten mht. forbruksendringen. Gjennomføring av tiltaket vil kreve virkemidler rettet både mot produsenter og forbrukere.

På produksjonssiden antas økonomiske virkemidler å være mest relevant. For svin er det allerede overproduksjon i samme størrelsesorden som tiltaket krever. Endring av innretning og størrelse av produksjonsstøtte over jordbruksavtalen, men også investeringsstøtte og gunstige lån til nye driftsbygninger for svin og fjærfe kan være viktige virkemidler. De økonomiske virkemidlene over jordbruksavtalen antas å kunne utformes slik at de er styrings- og kostnadseffektive, men med klare fordelingsvirkninger i form av forskyvninger fra mange mindre produksjonsenheter for storfe til færre og større for gris og fjærfe.

For forbrukerne vil både informasjon og økonomiske virkemidler være aktuelle. Dersom sykdomsrisiko forbundet med høyt inntak av rødt kjøtt blir bedre dokumentert, vil dette styrke informasjon som virkemiddel. Likevel vil styringseffektiviteten av informasjonskampanjer være lav, og det vil kunne være utfordrende å hente ut det fulle reduksjonspotensialet.

I tillegg vil det trolig være nødvendig med økonomiske virkemidler som sikrer en større prisdifferanse mellom de ulike kjøttslagene enn i dag. Det kan vurderes å øke prisene på rødt kjøtt i Norge, men dette vil kunne gi økt handelslekkasje og/eller import. Dermed vil reduksjon av utslippene i et globalt perspektiv bli mindre enn forutsatt.

Tiltak 2: Halvering av tap av animalske produkter fra hele verdikjeden (reduisert spill av mat)

Det kastes i dag årlig ca. 50 kg nyttbar mat per innbygger i Norge. Ca. 16 % av dette er animalske produkter. Tapet skjer i industrien, i varehandelen, i private husholdninger og i storkjøkken. En reduksjon av dette vil kunne senke behovet for produksjon av animalske produkter og dermed utslipp av metan forbundet med denne produksjonen. Det vil også resultere i utslippsreduksjoner for langlevde klimagasser. Det er en forutsetning at innkjøp av animalske matvarer reduseres i samme omfang som tapet. Produksjon av vegetabiliske produkter og fisk har ingen utslipp av metan eller andre kortlevde klimadrivere. Tiltaket er derfor begrenset til animalske produkter.

Tiltakets levetid er forventet å være 17 år. Det er regnet med lineær innfasing av tiltaket fra start i 2014 fram til full effekt i 2030. Kostnadene er regnet som rene årlige driftskostnader til kontinuerlige kampanjer, forbedringstiltak og rutiner i industri og dagligvarehandel. Dersom disse

virkemidler (og kostnader) skulle opphøre fra 2031, antas det at tapet fortsatt ville holde seg lavere enn i referansebanen. Hvor mye og hvilke virkemidler det ville kreve for å holde tapet på samme nivå som i 2030, eller eventuelt redusere det ytterligere, er usikkert.

Tiltaket er ikke vurdert å ha en helse- eller miljøeffekt forbundet med utslippsreduksjonene.

Mulige virkemidler for tiltaket

For husholdningene kan tiltaket utløses gjennom informasjon og økonomiske virkemidler (prisen på matvarer). Det har vært gjennomført noen informasjons- og holdningskampanjer, men det foreligger ingen dokumentasjon av effekten av disse.

For industrien og dagligvarebransjen kan det være aktuelt med for eksempel endringer i forpakkingsstørrelse, logistikk og lagring og endringer i fordeling av varetilbudet på ferske og frosne varer.

Tiltak 3: Produksjon av biogass fra husdyrgjødsel for bruk i buss

Tiltaket går ut på at 30 prosent av husdyrgjødselen behandles i biogassanlegg og den produserte biogassen (metan) oppgraderes for erstatning av diesel som drivstoff for buss. Tiltaket er en revidert variant av tiltak beskrevet i Klif (2013a).

Når husdyrgjødselen behandles i biogassanlegg i stedet for å lagres, reduseres metanutslippene som finner sted ved lagring. I tillegg reduseres utslippene av lystgass og ammoniakk.

Tiltaket vil ikke ha helseeffekt forbundet med produksjon av metan.

Beskrivelsen av tiltaket ved anvendelse av den produserte biogassen som drivstoff omtales under Transport (Kapittel 5.4).

Mulige virkemiddel for tiltaket

Tiltaket vil ikke være bedriftsøkonomisk lønnsomt. Subsidiar vil kunne være nødvendig for å løse ut potensialet.

5.6. HFK-er i produkter

HFK-er i produkter omfatter bruk av HFK i ulike produkter, i første rekke som kuldemedium i kjøleutstyr, luftkondisjonering og varmepumper. Disse utslippene inngår som egen undersektor "produkter med fluorgasser" i sektoren "Andre kilder" i Miljødirektoratet og Statistisk Sentralbyrås utslippsregnskap.

I tiltaksanalysen i dette prosjektet har vi vurdert alle HFK-ene som slippes ut i Norge fordi stoffene ofte opptrer i blanding, samt at enkelte av de langlevde HFK-ene har høyere klimaeffekt per tonn enn flere av de kortlevde HFK-ene også på kort sikt. Ensidig fokus på kortlevde HFK-er ville dermed kunne gitt uønskede tiltak som erstatter kortlevde HFK-er med langlevde HFK-er med sterkere klimaeffekt.

5.6.1. Utslipp og framskrivninger

HFK-er ble faset inn på 1990-tallet som erstatning for ozonreduserende stoffer. Utslippene er stigende, men veksten antas å ha blitt dempet ved innføringen av avgift i 2003. Det forventes at den stigende trenden vil snu rundt 2018 på grunn av generell teknologisk utvikling og fordi en

regulering av HFK-er i klimaanlegg på kjøretøy vil begynne å få effekt. Denne reguleringen stiller krav til bruk av HFK-er med GWP lavere enn 150.

Av de ni HFK-ene som inngår i det norske utslippsregnskapet, er fem kortlevde (tabell V4.1). Disse fem kortlevde klimadriverne utgjør 58 prosent av de totale HFK-utslippene i Norge. HFK134a (14 år) utgjorde alene 57 prosent av totale HFK-utslipp i Norge i 2011.

En revidert F-gassforordning er til behandling i EU. Forslaget inneholder omfattende krav til reduksjoner (Kapittel 1.4). Ettersom framskrivningen kun baserer seg på vedtatt politikk, reflekterer ikke framskrivningen denne reduksjonen.

5.6.2. Utrekede tiltak og mulige virkemidler

Analysen har fokusert på kuldeanlegg fordelt på syv kategorier som er analysert separat. Dette skyldes at det er store forskjeller i anleggenes egenskaper og dominerende typer kuldemedium, ulike muligheter for å gjennomføre tiltak (teknisk og økonomisk), varierende effekt av tiltak osv.

Disse undergruppene er: 1. Private kjøleskap og fryserer, 2. Kommersiell kuldemøbler (kjøleskap, fryserer etc. i kommersiell virksomhet), 3. Luftkondisjoneringsanlegg (AC-anlegg) i biler med vrakpant, 4. AC-anlegg i andre kjøretøyer, 5. Små varmepumper (brukt i privatboliger ol), 6. Væskeskjøleaggregater (for større AC-anlegg og varmepumper, indirekte kjølesystemer osv.) og 7. Andre anlegg (plassbygde anlegg samt andre anlegg som ikke faller inn under kategoriene 1-6).

For hvert av områdene er det lagt inn et sett forutsetninger med hensyn til utviklingen framover, bl.a. i tilknytning til sektorens vekst og naturlige overgang til ikke-HFK.

Følgende ikke-overlappende tiltak er utredet:

1. Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er
2. Redusere fyllingsbehovet og benytte HFK med lavere klimaeffekt

Tiltak 1: Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er

I 2010 innførte Norge EUs F-gassforordning fra 2006 som henvisningsforskrift i Produktforskriftens kapittel 6a. Forordningen har som formål å redusere utslipp gjennom obligatorisk lekkasjekontroll av anlegg, gjenvinning av kuldemediet ved service og kondemnering, føring av kuldemedieregnskap osv.

Tiltaket går ut på å sikre etterlevelse av regelverket gjennom effektiv myndighetskontroll med at forordningen overholdes, slik at reduksjonspotensialet for tiltaket utløses så langt som praktisk mulig. I hver av de syv kategoriene er resultatet av en effektiv kontroll definert i form av en bestemt reduksjon av utslipp.

Mulige virkemidler for tiltaket

Tiltaket kan utløses gjennom tilsyn av gjennomført regulering.

Tiltak 2: Redusere fyllingsbehovet og benytte HFK med lavere klimaeffekt

HFK-mediens vekt faktorer spenner over et vidt område (se Vedlegg 6), samtidig som behovet for kuldemedium kan påvirkes mye gjennom valg av tekniske løsninger. Tiltaket omfatter reduksjon av utslipp og klimaeffekt av utslippene ved bruk av tekniske løsninger som krever liten fylling og

kuldemedier med høy vektfaktor. Slike løsninger er tilgjengelig i markedet, og tiltaket er basert på bruk av slike løsninger.

Tiltaket er ikke vurdert å ha helse- og miljøeffekter som følge av utslippsreduksjoner.

Mulige virkemidler for tiltaket

Tiltaket kan utløses gjennom økte avgifter eller begrensninger/forbud når det gjelder gasser med særlig høy vektfaktor.

Andre reduksjonsmuligheter

I tillegg til de ikke-overlappende tiltakene har erstatning av HFK med naturlige kuldemedier blitt utredet, men tiltaket overlapper med tiltak 2, se sektornotat i Sektorrapporten for mer informasjon.

Det har også blitt gjennomført en forenklet vurdering av innføring av forslag til revidert forordning. Slik utkastet forelå på utredningspunktet, tydet det på at kommende forordning vil gi større reduksjoner i utslippene av HFK enn det som framkommer av denne analysen. Det har imidlertid kommet flere endringsforslag til forslag til revidert forordning som fortsatt er under behandling.

5.7. Tverrgående virkemidler

I dette arbeidet har vi ikke vurdert tverrgående virkemidler, dvs. virkemidler som gjelder for tiltak i flere sektorer. Slike virkemidler kan eksempelvis omfatte avgift for de kortlevde klimadriverne som ikke har det per i dag (metan, BC, med flere), eventuelt i kombinasjon med et tiltaksfond etter samme modell som NO_x-fondet.

"NO_x-modellen" innebærer at det innføres en avgift på aktuelle utslippskomponenter, en avtale mellom myndighetene og berørte bransjer (om størrelsen på utslippsreduksjonen som skal oppnås) og et "kortlevdfond" for finansiering av tiltak. Virksomheter som slutter seg til avtalen oppnår betalingsfritak for avgiften mot å betale en lavere innbetalingssats til fondet. Disse kan også søke fondet om støtte til gjennomføring av utslippsreducerende tiltak.

Det forutsettes at det, etter modell fra NO_x-fondet, etableres et styrende organ som fastsetter kriterier for støtte, behandler søknader om støtte og verifiserer effekten av gjennomførte tiltak. Et tiltaksfond vil først og fremst kunne være egnet for å finansiere tiltak som går ut over gjeldende utslippskrav og det som regnes som BAT-nivå per i dag. "NO_x-modellen" gir de enkelte virksomhetene insentiver til selv å identifisere aktuelle tiltak og søke støtte til å få gjennomført disse.

For at et slikt virkemiddelapparat skal være hensiktsmessig, bør det omfatte flere sektorer. Aktuelle sektorer kan være petroleumssektoren, landbasert industri og deler av transportsektoren. Med en bred innretning på fondet, vil man få et større tilfang av tiltaksmuligheter og dermed mulighet til å velge de mest kostnadseffektive løsningene på tvers av sektorer.

Denne muligheten bør ses på videre (kapittel 6.2.4).

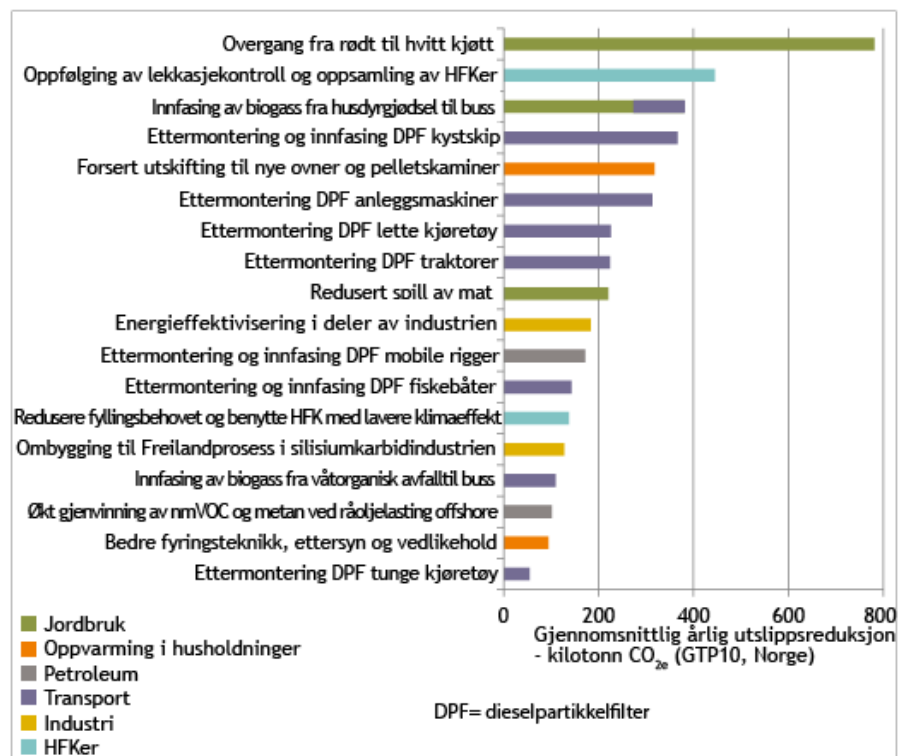
6. Resultater og vurderinger

Dette kapittelet beskriver resultater og vurderinger av analysen på kortlevde klimadrivere. Vi presenterer først tiltakenes klima- og helseeffekt, samt kostnadseffektivitet i kapittel 6.1, og deretter våre vurderinger i kapittel 6.2. En helhetlig oppsummering av disse resultatene er beskrevet for hvert enkelt tiltak i kapittel 6.2.1-6.2.2. Vi har også inkludert usikkerhetene i tiltaksanalysen, behovene for videre utredninger og kort om andre studier (kapittel 6.2.3-6.2.5). Metodisk tilnærming for analysen er oppsummert i kapittel 4.2.1.

6.1. Resultater av tiltaksanalysen

6.1.1. Klimaeffekt av tiltakene

Det er stor variasjon i den beregnede klimaeffekten av tiltakene rettet mot kortlevde klimadrivere. Figur 6.1 viser gjennomsnittlig reduksjon i kilotonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ per år (klimaeffekt) for de 18 ikke-overlappende tiltakene, slik de er skalert her fra antatt oppstartstidspunkt til og med 2030. Klimaeffekten av alle tiltak er beskrevet mer detaljert i kapittel 6.2.1.



Figur 6.1: Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial i kilotonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ for 18 ikke-overlappende tiltak

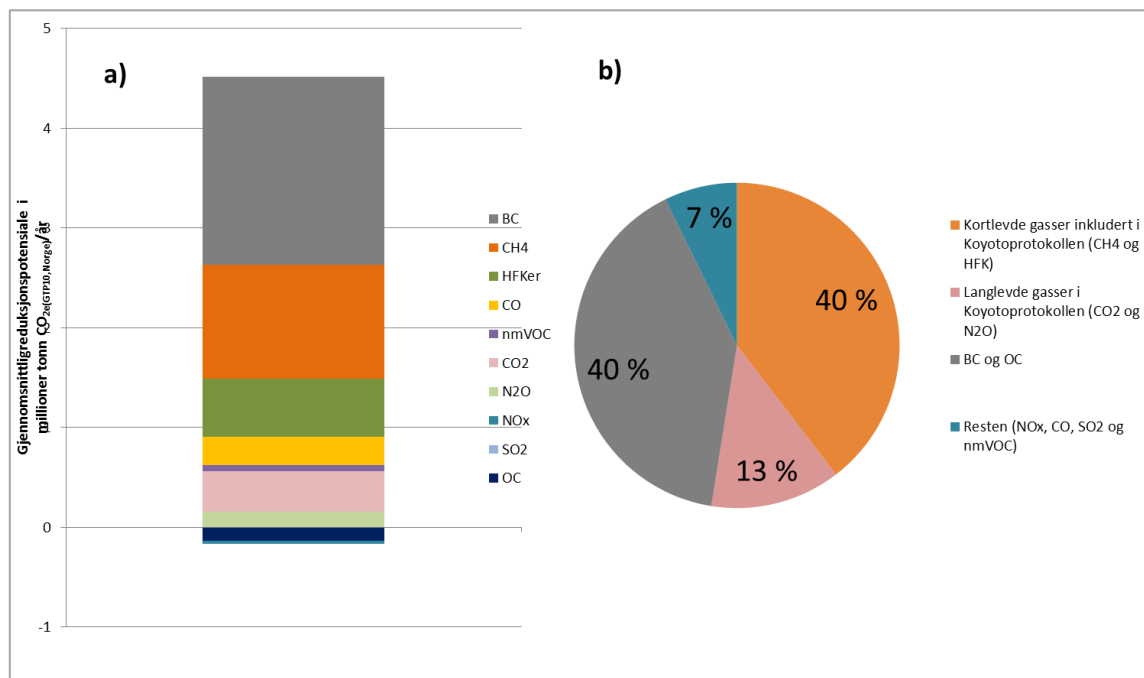
Slik vi har skalert tiltakene, er tiltaket med størst årlig reduksjonspotensial i analyseperioden *Overgang fra rødt til hvitt kjøtt*. Dette skyldes det høye antallet tonn metan som reduseres fordi kylling og gris slipper ut mindre fordøyelsesgasser enn ammekyr. Det nest-største tiltaket er *Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er* på grunn av høy vektfaktor for flere HFK-er. *Innfasing av biogass til buss fra husdyrgjødsel til buss* har effekt både i jordbrukssektoren

(produksjon) og transportsektoren (anvendelse som drivstoff). Summen av klimaeffekten i jordbrukssektoren og transportsektoren gjør at biogass (metan) fra husdyrgjødsel blir det tredje største tiltaket. *Ettermontering av partikkelfilter for anleggsmaskiner og Ettermontering av partikkelfilter for kystskip, samt Forsert utskifting til nye ovner og pelletskaminer* er de BC-tiltakene som er beregnet å ha størst gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial.

Klimaeffekten av de 18 tiltakene er vist på komponentnivå i figur 6.2a. Fra figuren ser vi at det beregnede totale reduksjonspotensialet som teoretisk kan utløses gjennom tiltakene som er utredet, er 4,3 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ i gjennomsnitt per år, tilsvarende ca. 12 prosent av utslippene av kortlevde klimadrivere i 2011. Figur 6.2 inkluderer både de oppvarmende komponentene (positiv klimaeffekt) og avkjølede komponentene (negativ klimaeffekt) som reduseres

De største utslippsreduksjonene kommer fra BC-reduksjoner, etterfulgt av metan- og HFK-reduksjoner. Samlet effekt av BC-/OC reduksjonene tilsvarer 1,8 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, og dette utgjør 40 % av de atten tiltakenes reduksjonspotensial. Tilsvarende er samlet effekt av reduksjonene av Kyotogassene metan og HFK-er også om lag 40 %, fordelt som hhv. metanreduksjoner i størrelsesorden 1,1 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ og HFK-reduksjoner i størrelsesorden 0,6 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Av de resterende 20 %, utgjør reduksjonene av de langlevde klimagassene CO_2 og N_2O like mye som samlet effekt av resten av de kortlevde klimadriverne og SO_2 .

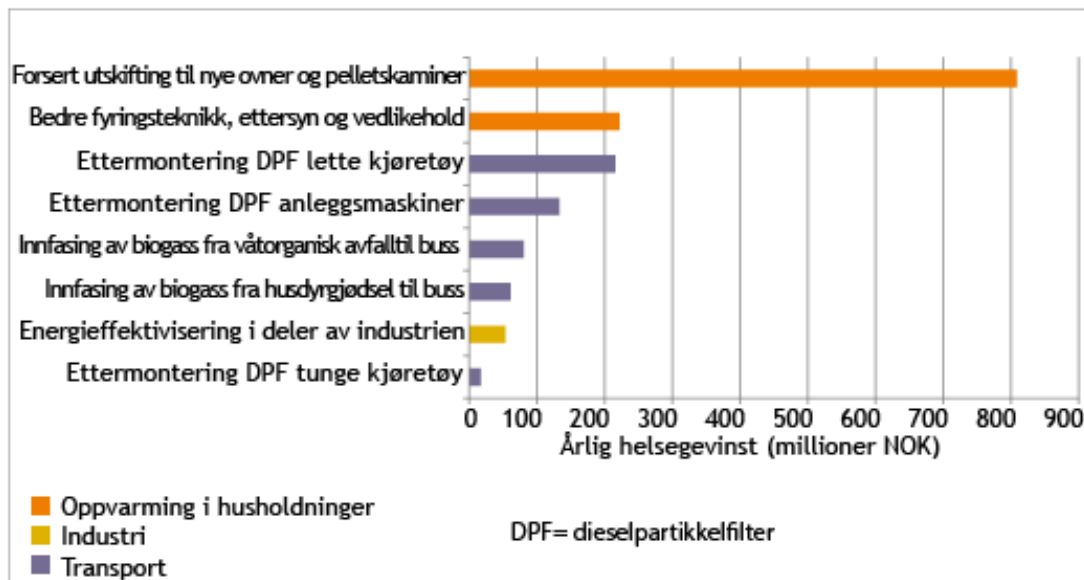
I ett av de 18 tiltakene reduseres SO_2 -utslipp. NO_x -reduksjoner er kvantifisert for fem av tiltakene. I tillegg reduseres NO_x -utslipp i vedfyringstiltakene, men disse reduksjonene er ikke inkludert i klimaeffekten av tiltakene fordi utslippene ikke inngår i referansebanen (kapittel 3.5.1). NO_x -reduksjonene fra vedfyring er imidlertid små. De kvantifiserte NO_x - og SO_2 -reduksjonene er for små til å synes i Figur 6.2.



Figur 6.2a: Gjennomsnittlig utslippsreduksjoner i millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ per år for hver komponent for de 18 ikke-overlappende tiltakene. Figur 6.2b: Prosentvis fordeling av utslippsreduksjonene for de 18 tiltakene

6.1.2. Helseeffekt av tiltakene

Figur 6.3 viser beregnet helsegevinst (millioner kroner per år) for de åtte tiltakene som har helseeffekt. Helsegevinsten er beregnet på grunnlag av forventede utslippsreduksjoner av partikler og NO_x. Disse reduksjonene har blitt verdsatt ved bruk av verdsettingsfaktorer beregnet for Vegdirektoratet av (Samstad m. fl., 2010). Verdsettingsfaktorene er differensiert etter befolkningstetthet (kapittel 2.12.1 og Vedlegg 9). Den største andelen av helsegevinsten i de viste tiltakene skyldes partikkelreduksjoner.



Figur 6.3: Verdsatt helsefordel per år (i millioner NOK) av utredede tiltak som har helseeffekt

Figur 6.3 viser at den beregnede helsegevinsten er størst for vedfyringstiltakene. Dette skyldes den store reduksjonen av partikler ved effektivisering av vedfyringen eller konvertering til nye vedovner eller pelletskaminer. Ettermontering av partikkelfilter på lette og tunge kjøretøy, samt erstatning av diesel med biogass som drivstoff reduserer også utslipp av partikler og NO_x i veitrafikken. For energitiltaket i industrien skyldes helsefordelen reduksjon av partikler og NO_x ved effektivisering av energiforbruket. Samlet beregnet helsefordel for alle de åtte tiltakene er i størrelsesorden 1,6 milliarder kr/år.

6.1.3. Miljøeffekt av tiltakene

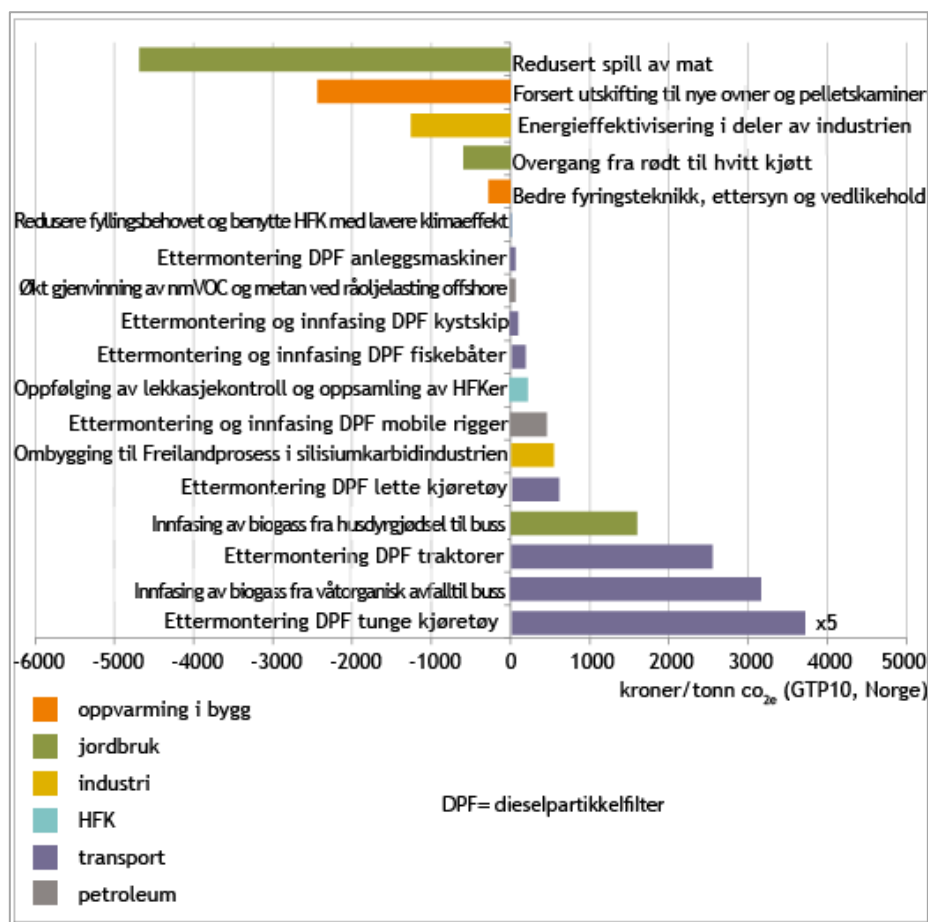
Som beskrevet i kapittel 2.11, er miljøeffekten av kortlevde klimadrivere hovedsakelig knyttet til høye ozon- og NO_x-nivåer, og disse nivåene domineres av utenlandske tilførsler. Reduksjoner av norske utslipp av ozonforløpere, inkl. NO_x, vil ha en relativt begrenset miljøeffekt, men regionalt, og spesielt i Sørvest- Norge, kan norske utslipp bidra med en andel som er av betydning for overskridelse av den fastsatte verdien for naturens tålegrenser.

6.1.4. Kostnadseffektivitet av de ikke-overlappende tiltakene

I kapittel 6.1.1-6.1.3 har vi beskrevet klima-, helse- og miljøeffekt av de 18 ikke-overlappende tiltakene. I dette kapitlet beskriver vi kostnad per redusert tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, såkalt kostnadseffektivitet for disse tiltakene. Kostnadseffektiviteten for tiltakene er beregnet i tråd med Finansdepartementets veileder for samfunnsøkonomiske analyser¹³. Tiltakskostnaden inkluderer verdsette helseeffekter der dette er relevant, dvs. helsegevinster målt i kroner har blitt trukket fra tiltakskostnaden.

Vi har ikke hatt grunnlag for å kunne verdsette effekter på skog og avling (miljøeffekter) på samme måte, men dette antas å ha liten betydning for analysens konklusjoner. Med utgangspunkt i dette kan vi si at dersom et tiltak har negativ kostnadseffektivitet (< 0) er det samfunnsøkonomisk lønnsomt. Se Vedlegg 7 og 9 for mer informasjon om beregning av kostnadseffektiviteten.

Figur 6.4 viser kostnadseffektiviteten, inklusiv beregnet helseeffekt, for alle ikke-overlappende utredete tiltak. For noen tiltak er det lagt til grunn at det er nødvendig med en periode med utredning og tilrettelegging før tiltaket kan settes i gang. Noen tiltak har effekt etter 2030.

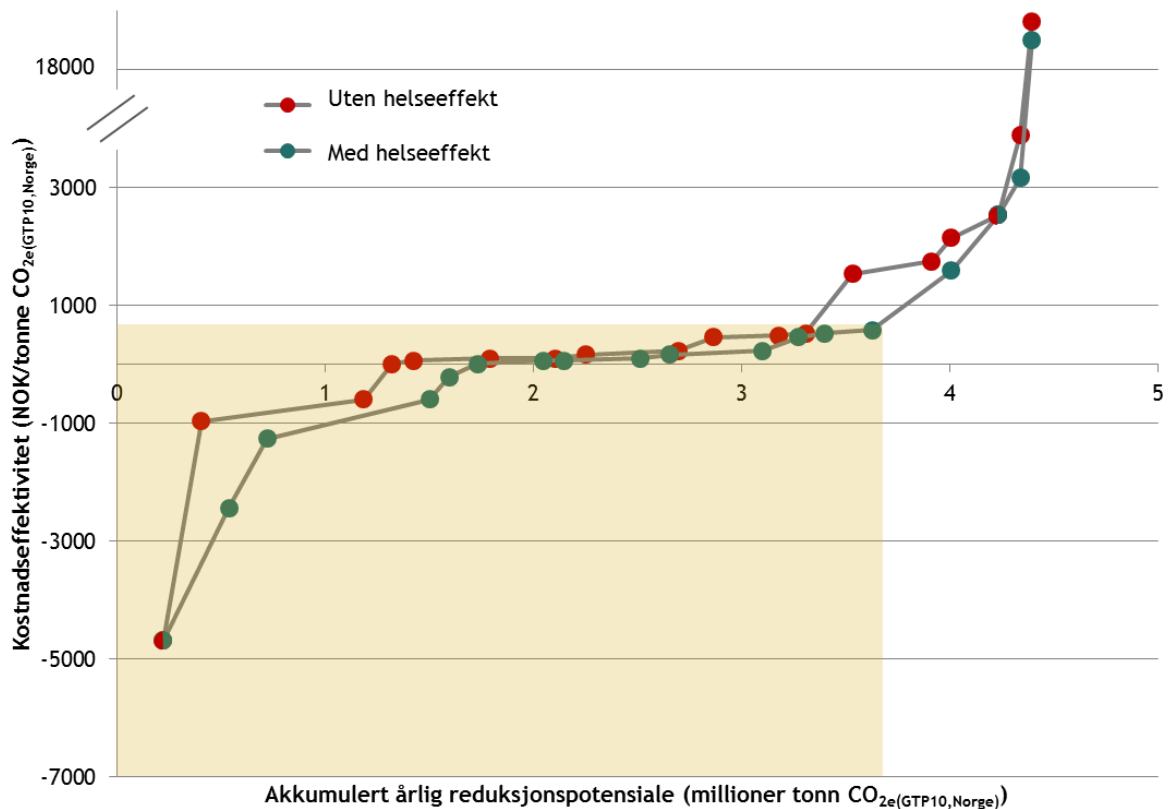


¹³ I tråd med Finansdepartementets veileder er ikke klimanytten av tiltakene verdsett.

Figur 6.4: Kostnadseffektivitet kr/tonn $CO_{2e(GTP10, Norge)}$ per tiltak

Figur 6.4 viser at fem tiltak har beregnet kostnadseffektivitet lavere enn null, og resterende tiltak har varierende kostnadseffektivitet. Kostnadseffektiviteten til tiltaket *Ettermontering av partikkelfilter tunge kjøretøy* er skalert ned fem ganger for bli tilpasset figuren.

I figur 6.5 er tiltakene rangert etter økende kostnad per redusert tonn $CO_{2e(GTP10, Norge)}$, dvs. etter avtagende kostnadseffektivitet. Årlig reduksjonspotensial for tiltakene summeres langs førsteaksen (x-aksen). Figuren viser dermed hvilket reduksjonspotensial som kan oppnås til en gitt kostnadseffektivitet (y-aksen). Kostnadseffektiviteten er også vist uten helsefordel (røde punkter) for å synliggjøre betydningen helse har for kostnadseffektiviteten. Rangering av tiltakene endres for de fleste tiltakene når helseeffekten ikke lenger er inkludert.



Figur 6.5: Kostnadseffektivitet og akkumulert årlig reduksjonspotensial for de 18 ikke-overlappende tiltakene med (grønne punkter) og uten (røde punkter) helseeffekt

Figur 6.5 indikerer at kostnadseffektivitet blir markant dårligere ved om lag kr 600/tonn $CO_{2e(GTP10, Norge)}$ for kurven som inkluderer helsefordelen. Fire av tiltakene er beregnet å ha vesentlig dårligere kostnadseffektivitet og ligger utenfor det gule feltet.

I tillegg viser figur S.7 at de åtte tiltakene med helseeffekt blir dyrere dersom helseeffekten ikke inkluderes i kostnadene (dvs. linjen med røde punkter ligger over linjen med grønne punkter) (kapittel 6.1.2).

Fem tiltak er beregnet å koste under 0 kr per redusert tonn CO_{2e}(GTP₁₀, Norge). For to av tiltakene (vedfyring) skyldes dette den store helsegevinsten. For de andre tre tiltakene skyldes dette primært kostnadsmessige besparelser.

6.2. Vurderinger av tiltak og virkemidler

Rammene for denne tiltaksanalysen er beskrevet i kapittel 4. Noen sentrale forutsetninger er:

1. Et definert mål for utslippsreduksjoner er ikke satt
2. Analysen er avgrenset til utslipp som inngår i det norske utslippsregnskapet slik det publiseres av Miljødirektoratet og SSB
3. Tiltak som primært er rettet mot langlevde gasser er ikke utredet
4. Utslippsreducerende tiltak identifiseres for å begrense oppvarming på kort sikt med best mulig helse- og miljøeffekt
5. Data- og kunnskapsmangel har begrenset mulighetene for tiltaksutredninger

Ved vurdering av tiltakene har kostnadseffektiviteten vært et sentralt kriterium. I tillegg har vi lagt vekt på kostnadseffektiviteten, klima- og helseeffekt hver for seg og samlet, styringseffektivitet (en kvalitativ vurdering av hvor realistisk det er at estimerte utslippsreduksjoner faktisk oppnås).

6.2.1. Oppsummering av resultatene for hvert tiltak

I dette kapitlet beskrives vår samlede vurdering av de 18 ikke-overlappende tiltakene. Tiltakene er listet etter avtagende kostnadseffektivitet, dvs. de billigste tiltakene beskrives først (samme rekkefølge som i Figur 6.4 og for grønne punkter i Figur 6.5). I neste kapittel oppsummeres våre vurderinger av tiltakene i tabell 6.1.

I tillegg til å vurdere kostnadseffektiviteten inkl. helseeffekter, har vi gjort en skjønnsmessig vurdering av hvor realistisk det antas å være at estimerte utslippsreduksjoner kan oppnås gjennom det mest aktuelle virkemiddelet eller kombinasjon av virkemidler. Dette kalles styringseffektivitet. Styringseffektiviteten er også kvalitativt vurdert som høy, middels eller lav. Generelt vurderes regulering som et styringseffektivt virkemiddel, mens informasjonsvirkemiddel typisk vurderes som mindre styringseffektive. Ofte er det nødvendig med en kombinasjon av virkemidler for å utløse et tiltak. Eksempelvis kan man å øke styringseffektiviteten for ulike støtteordninger gjennom informasjonstiltak.

Kostnadseffektiviteten, klima- og helseeffekt av tiltakene er vurdert som høy, middels eller lav basert på innbyrdes vurdering¹⁴. Det er ikke tatt stilling til hvorvidt verdiene for kostnadseffektivitet, klimaeffekt og helseeffekt er lav, middels eller høye i forhold til andre analyser (kapittel 6.2.5).

¹⁴ Kostnadseffektivitet (kr/tonn CO_{2e}(GTP₁₀, Norge)): H=<0, M=0-600, L=> 600. Klimaeffekten (årlige reduksjoner i kilotonn CO_{2e}(GTP, Norge)): H>400, M=200-400 og L<200. Helseeffekten (årlig helsegevinst i millioner kroner): H>100, M=50-100, L<50

Det er også tatt med tilleggsinformasjon som kan være relevant for vurderingen av hvert enkelt tiltak. Dette kan for eksempel være om tiltaket har effekt etter utløpet av analyseperiode (effekt etter 2030).

For alle tiltak gjelder at vurderingene er basert på tiltakene slik de her er dimensjonert. Det er mulig å skalere tiltakene annerledes. Tiltakene har dessuten til felles at de er beheftet med usikkerheter som er omtalt i Kapittel 6.2.3. I det samme kapitlet omtales også følsomhetsanalyser for tiltakene er diskutert i Kapittel 6.2.3.

Redusert spill av mat

Tiltaket omhandler redusert spill av animalsk mat og reduserer primært metan som er regulert under Kyotoprotokollen. I tillegg reduseres noe N_2O . Tiltaket er beregnet å være det mest lønnsomme i analysen og har en beregnet kostnadseffektivitet på - 4686 kr per tonn $CO_{2e(GTP10, Norge)}$. Hovedårsaken til at tiltaket kommer ut med en kostnadseffektivitet under null, er knyttet til besparelser i forbindelse med redusert produksjon på grunn av lavere forbruk av mat. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon ved å halvere mengden animalsk mat som kastes, er beregnet til 221 000 tonn $CO_{2e(GTP10, Norge)}$. Det vil si at tiltaket er beregnet å ha middels klimaeffekt. Det er naturlig å tenke at dette tiltaket vil gi permanente endringer i matindustrien og husholdningene, slik at det også kan ha klimaeffekt på grunn av ytterlige utslippsreduksjoner av metan etter 2030. Det er ingen helseeffekt forbundet med utslippsreduksjonene.

Tiltaket forutsetter at næringsmiddelindustrien, varehandelen og husholdningene, frivillig slutter å la mat gå til spille. Tiltaket kan imidlertid også gi kostnader eller ulemper for forbruker, f. eks. i form av redusert tilgang på ferske varer. Dette er ikke kvantifisert i analysen. Tiltaket er tenkt utløst ved hjelp av informasjonskampanjer. Det vil være begrensede kostnader knyttet til administrasjon av en slik ordning. Det er imidlertid knyttet usikkerhet til om slike kampanjer vil føre til den utslippsreduksjonen som er lagt til grunn. Styringseffektiviteten vurderes derfor som lav.

Gjennom Avfallsstrategien (MD, 2013) er det også nylig etablert et samarbeidsprosjekt mellom bransjeorganisasjoner i mat- og dagligvarebransjen med mål om å bidra til å redusere matsvinnet i Norge med 25 % innen utgangen av 2015, samt en matsentral som skal formidle overskuddsmat fra industri, grossister og dagligvarehandel til veldedige organisasjoner som serverer eller deler ut mat til privatpersoner. I praksis er det dermed allerede på plass virkemidler som kan utløse deler av potensialet.

Det kan tenkes at det også kan innføres krav til annen datostempling av produkter (for eksempel "best før" framfor "holdbar til"), men videre utredning er nødvendig for å vurdere for hvilke produkter dette eventuelt er mulig. Dette regelverket styres av EU og har flere begrensninger.

Tiltaket reduserer årlig også CO_2 -utslipp i størrelsesorden 19 000 tonn $CO_{2e(GTP10, Norge)}$ på grunn av arealbruksendringer og redusert produksjon av mat. Disse utslippsreduksjonene er ikke inkludert i tiltaksberegningen fordi slike CO_2 -utslipp ikke inngår i det norske utslippsregnskapet og dermed ligger utenfor rammen for denne analysen.

Forsert utskifting til vedovner med ny teknologi og pelletsaminer

Tiltaket er innrettet mot å øke hastigheten på den naturlige utskiftingen av vedovner fra gammel til ny teknologi (50 %) og til pelletsaminer (50 %) utover den utskiftingen som allerede ligger inne i referansebanen. Tiltaket omfatter at 140 000 gamle vedovner er blitt erstattet med 70 000 vedovner med ny teknologi og 70 000 pelletsaminer i 2030. Den naturlige utskiftingen i perioden

antas å være 400 000 ovner. Det betyr at de 70 000 pelletskaminene som skiftes ut gjennom tiltaket, utgjør 13 % av skiftede ovner i perioden.

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC og OC. Tiltaket er beregnet å ha en god kostnadseffektivitet (-2433kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$). Hovedårsaken til at tiltaket kommer ut med en kostnadseffektivitet under null, er at tiltaket forventes å ha store positive helseeffekter (høy) som følge av reduserte partikkelutslipp når man skifter ut en gammel vedovn til ny vedovn eller pelletskaminer. Tiltaket er dimensjonert til å gjelde større byer og tettsteder, og helseeffekten er verdsatt i tiltakskostnaden med 462 kr/kg PM_{10} . Dette tiltaket er beregnet å ha den høyeste helseeffekten av de 18 tiltakene. Helsegevinsten er anslått å være ca. 800 millioner kroner per år. Klimaeffekten av tiltaket er på kort sikt 318 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ per år, dvs. at klimaeffekten er middels. Tiltaket vil også kunne ha en klimaeffekt etter 2030 ettersom vedovner har lang levetid.

Tiltaket er tenkt utløst gjennom støtteordninger. Med utgangspunkt i at pelletskaminer har hatt begrenset gjennomslagskraft i Norge så langt (Kapittel 5.3.2), er det usikkerhet knyttet til hvorvidt det er realistisk at 13 % av ovner som skiftes i perioden, er pelletskaminer utløst gjennom dette tiltaket. Det vil kunne være behov for å endre befolkningens innkjøpsvaner gjennom informasjonstiltak og tiltak for å styrke leverandørledd av pellets og vedlikeholdstjenester. Vi vurderer derfor styringseffektiviteten som middels.

Tiltaket baserer seg på velkjent teknologi og kan igangsettes raskt. Det kan likevel være grunn til å vente til forordninger for energimerking og økodesign for lokal romoppvarming (ENER Lot 20) under EUs Økodesigndirektiv er ferdigbehandlet. Dette er forventet å skje innen kort tid. Det vil bli stilt maksimumskrav til utslipp av partikler, NO_x , OC og CO fra blant annet vedovner og pelletskaminer. Det er fortsatt behov for avklaringer knyttet til målemetoder og grenseverdier, men utslippskravene ligger an til å bli strengere enn dagens krav. Hvis det blir tilfellet, betyr det at utskifting av gamle ovner til nye rentbrennende ovner med nye og lavere utslippsgrenser, vil gi større utslippsreduksjoner enn det som er lagt til grunn i beregningene av dette tiltaket

Energieffektivisering i deler av industrien

Dette tiltaket er rettet mot de deler av industrien som inngår i kategorien "annen industri" i utslippsregnskapet, dvs. verkstedindustri, skipsverft, etc.

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC. Tiltaket er beregnet å ha en høy kostnadseffektivitet på -1255 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Grunnen til at kostnadene er beregnet til å være lavere enn null, er at energieffektivisering fører til reduserte energikostnader i tillegg til en positiv helsegevinst på grunn av utslippsreduksjonene av partikler og NO_x . Helsegevinsten er middels og beregnet til ca. 50 millioner kr per år.

Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 183 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, dvs. at klimaeffekten er her beregnet som lav. Dette tiltaket og biogassiltakene (se under) er de eneste tiltakene der vi oppnår reduserte CO_2 -utslipp i forhold til referansebanen. Tiltaket er tenkt utløst ved hjelp av en støtteordning, eksempelvis ved å styrke og/eller dreie ENOVAs innsats på dette området. Det er allerede etablert incentiver for energieffektivisering og det er usikkert i hvilken grad en styrking og/eller dreining av disse vil utløse tiltaket. Styringseffektiviteten er vurdert som middels. Virkemiddelet antas å ha lave administrative kostnader, ut over skattefinansieringskostnader ettersom det i stor grad kan baseres på eksisterende ordninger. Det er naturlig å tenke på tiltaket som en permanent overgang, slik at det også vil ha effekt etter 2030.

Overgang fra rødt til hvitt kjøtt

Tiltaket går ut på å erstatte norsk produksjon av 10 000 tonn (56%) storfekjøtt fra ammekyr (inkludert avkommet til ammekua) med 5 000 tonn svinekjøtt og 5 000 tonn fjærfekjøtt per år. Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært metan som er regulert under Kyotoprotokollen. I tillegg reduseres noe N_2O . Tiltaket er beregnet å ha en kostnadseffektivitet på -593 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ (høy). Årsaken til at tiltakskostnaden er beregnet til å være lavere enn null, skyldes i første rekke at produksjon av gris og høns er mindre kapitalintensiv enn produksjon av storfekjøtt. Det er medregnet tapt konsumentoverskudd hos forbrukerne som følge av overgangen. Dersom overgangen skulle skje fordi forbrukernes preferanser endres, for eksempel som følge av en opplysningskampanje, vil det være naturlig å se bort dette tapet. Da vil tiltaket fremstå som enda mer lønnsomt. Tiltaket forutsetter at konverteringen fra rødt til hvitt kjøtt skjer både i produksjonen og på forbrukssiden.

Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er imidlertid beregnet til 781 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ og er dermed det utredete tiltaket med størst beregnet klimateffekt (høy). Det er naturlig å tenke på forbruksendringen som en permanent overgang, slik at det også vil ha effekt etter 2030. Tiltaket har ingen vesentlig helseeffekt forbundet med utslippsreduksjonene. Det kan være helseeffekter forbundet med lavere konsum av rødt kjøtt, men vi har ikke vurdert slike effekter i dette arbeidet.

På grunn av mindre behov for grovfôr og dermed mindre gressareal, kan tiltaket også påvirke CO_2 -utslipp på grunn av endret arealbruk. Om CO_2 -utslippene øker eller minker på grunn av mindre gressareal, er avhengig av hva det frigitte arealet brukes til. Endringer av CO_2 -utslipp som følge av arealbruksendringer er ikke inkludert i tiltaksberegningen fordi slike CO_2 -utslipp ikke inngår i det norske utslippsregnskapet, og dermed ligger utenfor rammen for denne analysen.

Det er allerede er overproduksjon av norsk svinekjøtt (om lag 5000 tonn årlig) og underproduksjon av storfekjøtt. Forbrukstrenden ser ut til å gå i retning av mer storfekjøtt. Det må gjennomføres informasjonskampanjer for å forsøke å snu denne trenden, men styringseffektiviteten av et slikt virkemiddel er relativt lav. På produksjonssiden kan mulig direkte tilskudd for omlegging og/eller opprettholdelse av produksjonen. Styringseffektiviteten av tiltak på produksjonssiden vurderes som høy. Tiltakets totale styringseffektivitet er likevel satt til lav ettersom endring i forbrukstrenden antas å være mest kritisk for gjennomføring av tiltaket.

Bedre fyringsteknikk, ettersyn og vedlikehold av vedovner

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC og OC. Dette tiltaket har en kostnadseffektivitet på -208 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ (høy). Hovedårsaken til at tiltaket kommer ut med en kostnadseffektivitet under null, er at tiltaket har høy helsegevinst som følge av reduserte partikkelutslipp grunnet mer effektiv fyringsteknikk og vedlikehold av vedovnene. Tiltaket er dimensjonert til å gjelde større byer og tettsteder, og helseeffekten er verdsatt til 462 kr/kg PM_{10} i tiltakskostnaden. Helsegevinsten for dette tiltaket er ca. 220 millioner kr per år. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 94 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ (lav klimateffekt). Innlært fyringsteknikk antas å bli opprettholdt etter 2030.

Tiltaket kan utløses gjennom økt informasjon til husholdningene, samt økt tilsyn og vedlikehold gjennom for eksempel feiervesenet. Styringseffektiviteten er vurdert som høy pga. tilsyn. Vår vurdering er at styringseffektiviteten knyttet til utslippsreduksjoner som følge av ettersyn og vedlikehold er god, men at det er noe mer usikkert om økt informasjon til husholdningene faktisk vil endre fyringsvanene. Administrative kostnader i forbindelse med utføring av tilsyn og vedlikehold ansees å være moderate. Tiltaket baserer seg på velkjent teknologi og kan derfor igangsettes raskt.

Redusere fyllingsbehovet og benytte HFK med lavere klimaeffekt

Tiltaket reduserer kun HFK-er som er regulert under Kyotoprotokollen. Tiltaket er beregnet å ha en middels kostnadseffektivitet på 14 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 137 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$, dvs. lav klimaeffekt. Det er forventet nye EU-reguleringer, og tiltaket kan bidra til å møte kravene i en eventuelt ny norsk forordning. Styringseffektivitet gjennom regulering er vurdert som høy. Vi har valgt å synliggjøre dette som et tiltak ettersom det ikke ligger i referansebanen, selv om virkemiddelutviklingen i stor grad vil styres av EU dersom en forordning trer i kraft. Tiltaket forventes ikke å ha helseeffekt tilknyttet utslippsreduksjonene, og det er svært begrensede administrative kostnader knyttet til implementering av tiltaket. Tiltaket vil ha effekt etter 2030 pga. levetiden for utstyret.

Ettermontering av partikkelfilter på anleggsmaskiner

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC. Tiltaket er beregnet å ha en middels kostnadseffektivitet på 67 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Gjennomsnittlig årlig klimaeffekt er beregnet å være medium, 314 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Tiltaket antas å ha en høy helsegevinst på grunn av partikkelreduksjoner. Den beregnede årlige helsegevinsten er ca. 130 millioner kroner per år. Tiltaket vil ha effekt så lenge anleggsmaskinene er i drift.

Tiltaket forutsetter at 80 prosent av bygg- og anleggsmaskiner (25 000 maskiner) får ettermontert partikkelfilter innen 2020. Det kan synes ambisiøst. Før tiltaket eventuelt settes i verk, er det nødvendig å utrede nærmere hvilke typer anleggsmaskiner det er mulig og/eller mest hensiktsmessige å ettermontere filtre på, samt hvordan virkemiddelet kan utformes helt konkret. Aktuelle virkemidler i neste omgang kan være krav ved offentlige anskaffelser der anskaffelsesregelverket tillater det, og innføring av en slags lavutslippssoner der maskiner som opererer i de største byene blir pålagt å ha partikkelfilter. Styringseffektivitet gjennom regulering betraktes som høy.

Økt gjenvinning av nmVOC og metan ved råoljelasting offshore

Tiltaket reduserer kun nmVOC og metan. Metan er regulert gjennom Kyotoprotokollen. Tiltaket er beregnet å ha en middels kostnadseffektivitet på 71 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Klimaeffekten av tiltaket er lav. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 101 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$ per år. Tiltaket antas ikke å ha helseeffekter ettersom utslippene i hovedsak skjer til havs.

Tiltaket vil kunne utløses ved å fastsette utslippskrav i tillatelser etter forurensningsloven eller krav i relevant forskrift som må oppfylles for at skip og rigger skal kunne operere på norsk sokkel. Offentlig støtte kan eventuelt være et aktuelt virkemiddel for å prøve ut teknologiene i full skala på én eller et fåtall skip/rigger for å påskynde gjennomføring av tiltakene. Oppstartsåret for tiltaket er derfor først satt til 2016. Regulering, eventuelt i kombinasjon med støtte, er vurdert med høy styringseffektivitet. Tiltaket vil ha effekt så lenge teknologien er i bruk.

Ettermontering og innfasing av partikkelfilter på skip i kysttrafikk

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC. Tiltaket er beregnet å ha en middels kostnadseffektivitet på 104 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Klimaeffekten er middels. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 367 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$, under forutsetning av at halvparten av kystfartøylene får partikkelfilter innen 2030. Tiltaket vil ha effekt så lenge partikkelfilteret er i bruk (om lag 10 år). Tiltaket antas ikke å ha helseeffekter ettersom utslippene i hovedsak skjer til havs.

Ut fra hva vi kjenner til, er partikkelfilter på skip lite utprøvd. Det bør gjennomføres pilotprosjekter, og det bør vurderes å støtte slike med statlige midler. Oppstartsåret er derfor først satt til

2017. Regulering, eventuelt i kombinasjon med støtteordninger, vil være relevant virkemiddel. Styringseffektiviteten er vurdert som høy.

Ettermontering og innfasing av partikkelfilter på fiskebåter

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC. Tiltaket er beregnet å ha en middels kostnadseffektivitet på 171 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 143 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ per år, dvs. lav klimaeffekt, under forutsetning av halvparten av fiskefartøyene over 15 meter får partikkelfilter innen 2030. Tiltaket vil ha effekt så lenge partikkelfilteret er i bruk (om lag 10 år). Tiltaket antas ikke å ha helseeffekter ettersom utslippene i hovedsak skjer til havs.

Ut fra hva vi kjenner til, er partikkelfilter på fiskebåter lite utprøvd. Det bør gjennomføres pilot-prosjekter, og det bør vurderes å støtte slike med statlige midler. Oppstartsåret er derfor først satt til 2017. Regulering, eventuelt i kombinasjon med støtteordninger, vil være relevant virkemiddel. Styringseffektiviteten er vurdert som høy.

Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er

Tiltaket reduserer kun HFK-er, og disse reguleres under Kyotoprotokollen. Tiltaket er beregnet å ha en middels kostnadseffektivitet på 236 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Dette tiltaket har nest-høyest klimaeffekt av de 18 tiltakene. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 445 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Tiltaket har ingen helseeffekt forbundet med utslippsreduksjonene.

Tiltaket er tenkt utløst ved hjelp av økt tilsyn med at regelverket overholdes. Det er krevende å vurdere den preventive effekten av økt tilsyn, imidlertid vil tilsynet styrke regulering som generelt betraktes som styringseffektivt. Vi har derfor vurdert styringseffektiviteten som høy. De administrative kostnadene knyttet til økt tilsyn antas å være moderate.

Ettermontering og innfasing av partikkelfiltre på mobile rigger

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC. Tiltaket er beregnet å ha en middels kostnadseffektivitet på 465 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Klimaeffekten er lav. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 171 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, dvs. lav. Det er ikke beregnet noen verdsatt helseeffekt knyttet til tiltaket, ettersom utslippene i hovedsak skjer til havs.

Regulering vil være et relevant virkemiddel for tiltaket. Partikkelfilter er imidlertid ikke installert på mobile rigger per i dag. Motortype, tilgjengelig plass, vekthensyn, sikkerhetsmessige hensyn etc. kan nødvendiggjøre tilpasninger på den enkelte rigg. Det kan derfor være aktuelt å kombinere et krav med støtte til utprøving/demonstrasjon av teknologien på én eller et fåtall rigger for å få erfaring med drift, vedlikeholdsbehov og oppnåelig rensegrad. Styringseffektiviteten er vurdert som høy. Tiltaket vil ha effekt så lenge partikkelfiltrene er i bruk.

Ombygging av Freilandsprosess i silisiumkarbidindustrien

Tiltaket reduserer bare CO-utslipp. Tiltaket er dimensjonert til å gjelde to bedrifter i Norge. Tiltaket er beregnet å ha en middels kostnadseffektivitet på 533 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 128 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, dvs. lav klimaeffekt. Det er rimelig å anta at omleggingen er permanent, og tiltaket vil derfor ha effekt utover 2030. Det er ikke beregnet noen verdsatt helseeffekt av tiltaket ettersom CO-reduksjoner ikke verdsettes.

Tiltaket kan utløses ved hjelp av regulering i tillatelse etter forurensningsloven. Vi vurderer krav som styringseffektivt og at det har lave administrative kostnader, ettersom det kan stilles krav i eksisterende konsesjon. Tiltaket baserer seg på kjent teknologi og kan således igangsettes raskt. Men tiltaket er forbundet med høye investeringskostnader slik at det vil kunne være nødvendig med støtte for å få gjennomført tiltaket. Dersom tiltaket utformes slik at CO i avgassen utnyttes til energiformål, kan tiltaket trolig kvalifisere for støtte for energieffektivisering fra Enova.

Ettermontering av partikkelfilter på lette dieselkjøretøy

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC. Tiltaket retter seg mot eksisterende bilpark, ettersom nyere biler allerede er utstyrt med fabrikkmonterte partikkelfilter i Norge. Tiltaket vil ha begrenset varighet fordi det forventes at eksisterende bilpark er skiftet ut innen 2028. Tiltaket er beregnet å ha en middels kostnadseffektivitet på 589 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, inkludert en helsegevinst på 1722 kr/kgPM₁₀. Dette tilsvarer en årlig helsegevinst på ca. 220 millioner kroner per år, dvs. en høy helseeffekt.

Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 226 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, dvs. middels klimaeffekt. Før en ordning kan igangsettes, er det nødvendig å utrede nærmere hvilke kjøretøy det er hensiktsmessig og økonomisk forsvarlig å ettermontere filtre på. Denne informasjonen er allerede tilgjengelig i Tyskland og det er mulig å få en oversikt over tekniske muligheter og kostnader herifra helt ned til årsmodell-nivå. Oppstartsåret er derfor først satt til 2015.

Det kan være aktuelt å kombinere et krav, for eksempel avgrenset i en lavutslippsone, med en støtteordning for å finansiere ettermontering av partikkelfiltrene, slik det er gjort i Tyskland siden 2009. Virkemiddelet vurderes å være styringseffektivt, men at det vil være knyttet relativt høye administrative kostnader knyttet til etablering og drift av selve ordningen.

Innfasing av biogass fra husdyrgjødsel til anvendelse som drivstoff i buss

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC og metan. Tiltaket har utslippsreduksjoner både i jordbrukssektoren fra produksjon av husdyrgjødsel og i transportsektoren for anvendelsen i buss. Tiltaket er beregnet å ha en relativt lav kostnadseffektivitet for hele denne verdikjeden på 1591 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 380 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, dvs. middels klimaeffekt. Helsegevinsten av partikler og NO_x er middels ved anvendelse som drivstoff i buss og beregnet til ca. 60 millioner kr per år.

Tiltaket er tenkt utløst gjennom støtte. Styringseffektiviteten antas å være middels.

I et kortlevdperspektiv vil ikke tiltaket være blant de mest lønnsomme på grunn av de høye kostnadene forbundet med produksjonen, men tiltaket kan likevel være attraktivt på grunn av positiv helseeffekt i byer og tettbygde strøk hvor biogassbussene kan erstatte dieselbusser. Biogasstiltaket fra våtorganisk avfall må sees i sammenheng med den varslede strategien på biogass (Klif, 2013a).

Ettermontering av partikkelfilter på traktorer

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC. Tiltaket er beregnet å ha en relativt lav kostnadseffektivitet på 2538 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 224 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, dvs. middels klimaeffekt. Det er ikke verdsatt noen helseeffekt, ettersom det er forutsatt at traktorene i stor grad opererer utenfor tettbygde strøk.

Det kan være aktuelt å kombinere et krav med en støtteordning for å finansiere ettermontering av partikkelfiltrene. Vi antar at dette vil være styringseffektivt. Tiltaket vil ha effekt så lenge partikkelfiltrene er i bruk.

Innfasing av biogass fra våtorganisk avfall til anvendelse som drivstoff i buss

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC og metan. Helsegevinst av partikler og NO_x er verdsatt. Tiltakskostnadene omfatter både produksjon av biogass og anvendelse av gassen i buss, men alle utslippsreduksjoner skjer ved anvendelse i buss (altså i transportsektoren). Tiltaket er beregnet å ha en relativt lav kostnadseffektivitet på 3169 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 110 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, dvs. lav klimaeffekt. Helsegevinsten av partikler og NO_x er middels ved anvendelse som drivstoff i buss og er beregnet til ca. 80 millioner kroner per år. Tiltaket er tenkt utløst gjennom støtte. Styringseffektiviteten antas å være middels.

I et kortlevdperspektiv vil ikke tiltaket være blant de mest lønnsomme på grunn av de høye kostnadene forbundet med produksjonen, men tiltaket kan være attraktivt på grunn av positiv helseeffekt i byer og tettbygde strøk hvor biogassbussene kan erstatte dieselbusser. Biogasstiltaket fra våtorganisk avfall må sees i sammenheng med den varslede strategien på biogass (Klif, 2013a).

Ettermontering av partikkelfilter på tunge dieselskjøretøy

Målt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ reduserer tiltaket primært BC. Tiltaket er beregnet å ha en relativt lav kostnadseffektivitet på 18 514 kr per tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$.

Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet til 54 000 tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, dvs. liten klimaeffekt. Helsegevinsten er antatt å være lav relativt til de andre tiltakene med helseeffekt, og beregnet til ca. 20 millioner kr per år. I kostnadseffektiviteten er det beregnet en verdsatt en helseeffekt (462 kr/kg PM_{10}). Kostnadseffektiviteten kunne vært noe bedret om tiltaket hadde vært spisset mot de store byene (462 kr/kg PM_{10}), men vil fortsatt være det dyreste tiltaket i analysen. Årsaken til at ettermontering av partikkelfilter for tunge kjøretøy kommer ut med høyest tiltaks-kostnad, skyldes i første rekke at det kommer krav som innebærer at fabrikkmonterte partikkelfilter vil være standard om få år, samt at den faktiske levetiden til tunge kjøretøy er antatt å være relativt kort (gjennomsnittlig levetid på 10 år). Tiltakene vil derfor ha få år med utslippsreduksjoner til å forsvare kostnadene. Det kan derimot også tyde på at vi har anslått en for høy kostnad knyttet til ettermontering av partikkelfilter på tunge kjøretøy. Dersom kostnaden per filter halveres, er tiltakskostnaden beregnet til å bli rundt 9 100 kr/tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$. Det vil allikevel fremdeles være det dyreste tiltaket i tiltaksanalysen.

Det kan være aktuelt å kombinere et krav, for eksempel avgrenset i en lavutslippssone, med en støtteordning for å finansiere ettermontering av partikkelfiltrene. Virkemiddelet vurderes å ha høy styringseffektivitet.

6.2.2. Helhetlig vurdering og valg av tiltak

Vi har gjort en helhetlig vurdering av våre tiltak. Dette har synliggjort både målkonflikter og vinn-vinn i forbindelse med tiltaksutredninger. I tillegg blir kostnadene for tiltakene bedre reflektert fordi helsegevinstene inkluderes. Beslutningsgrunnlaget blir derfor mer komplett.

I tabell 6.1 oppsummerer vi kostnadseffektivitet og styringseffektivitet for alle tiltak. Kostnadseffektiviteten inkluderer både klimaeffekt og helseeffekt, men hvorvidt det er klimaeffekten eller helseeffekten som har størst betydning for beregningen av kostnadseffektiviteten, varierer i stor

grad. Det er stor forskjell på klimaeffekten for tiltakene, og kun åtte av de 18 tiltakene har helseeffekt. I tabellen har vi derfor også synliggjort klima- og helseeffekten.

I tabellen betyr lysebrun farge *lav*, mellombrun farge betyr *middels* og mørkebrun farge betyr *høy*. En mer detaljert beskrivelse av de ulike kategoriene er forklart under tabellen.

Tabell 6.1: Vurderingsmatrise¹⁵

Tiltak	Primær-komponent som reduseres i CO _{2e} (GTP10,Norge)	Klima-effekt i kilotonn CO _{2e} (GTP10,Norge)/år	Helse-effekt i millioner NOK/år	Kostnads-effektivitet (kr/tonn)	Virkemiddel Styringseffektivitet (farge)
1. Redusert spill av mat	Metan	221	-	-4686	Informasjon
2. Forsert utskifting til nye ovner og pelletsaminer	BC, OC	318	808	-2433	Støtte og informasjon
3. Energieffektivisering i deler av industrien	BC	183	54	-1255	Kombinasjon av støtte (ENOVA) og informasjon
4. Overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt	Metan	781	-	-593	Informasjon (forbrukssiden) Støtte (produksjonssiden)
5. Bedre fyringsteknikk, ettersyn og vedlikehold	BC, OC	94	222	-208	Informasjon og tilsyn
6. Redusere fyllingsbehovet og benytte HFK med lav klimaeffekt	HFK-er	137	-	14	Krav
7. Ettermontering partikkelfilter (DPF) anleggsmaskiner*	BC	314	133	67	Krav. Lavutslippssoner
8. Økt gjenvinning av nmVOC og metan ved råoljelasting offshore	nmVOC, metan	101	-	71	Krav, evt. oppstartsstøtte
9. Ettermontering og innfasing DPF kystskip	BC	367	-	104	Krav kombinert med støtte
10. Ettermontering og innfasing DPF fiskebåter	BC	143	-	171	Krav kombinert med støtte
11. Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er	HFK-er	445	-	236	Oppfølging/ tilsyn av regelverk
12. Innfasing og ettermontering DPF mobile rigger	BC	171	-	465	Krav og støtte
13. Ombygging til Freilandprosess i silisiumkarbid-industrien	CO	128	-	533	Krav kombinert med støtte
14. Ettermontering DPF lette kjøretøy*	BC	226	216	589	Krav kombinert med støtte. Lavutslippssoner.
15. Innfasing av biogass til buss fra husdyrgjødsel	BC, metan	380	61	1591	Støtte
16. Ettermontering DPF traktorer	BC	224	-	2538	Krav kombinert med støtte
17. Innfasing av biogass til buss fra våtorganisk avfall	BC, metan	110	81	3169	Støtte
18. Ettermontering DPF tunge kjøretøy*	BC	54	17	18514	Krav kombinert med støtte. Lavutslippssoner.

¹⁵ *Tiltak som kan gi en NO₂-økning som reduserer de positive helseeffektene av BC-reduksjon (Kapittel 5.4.2 og 6.2.3). DPF: dieselpartikkelfilter. Lysebrun farge= Lav, Mellombrun farge = Middels; Mørkebrun farge = Høy. Kostnadseffektivitet (kr/tonn CO_{2e}(GTP10, Norge)): Høy: <0, Middels: 0-600, Lav:> 600. Klimaeffekten (årlige reduksjoner i kilotonn CO_{2e}(GTP, Norge)): Høy: >400, Middels: 200-400 og Lav: <200. Helseeffekten (årlig helsegevinst i millioner kroner): Høy: >100, Middels: 50-100, Lav: <50. I kolonnen for virkemiddel beskriver fargen grad av styringseffektivitet.

Mulige strategier for utslippsreduksjoner

Vi har gjort en helhetlig vurdering av våre tiltak med hensyn på klima-, helse og miljøeffekter. Dette har synliggjort både målkonflikter og vann-vinn i forbindelse med tiltaksutredninger. I tillegg blir kostnadene for tiltakene bedre reflektert fordi helseeffektene inkluderes. Beslutningsgrunnlaget blir derfor mer komplett.

Hvilke tiltak som bør velges avhenger likevel av en rekke forutsetninger, ikke minst dimensjoneringen av tiltakene og hvilke utvelgelseskriterier man vektlegger. Vi belyser her seks ulike grupper av tiltak basert på ulike strategier for utslippsreduksjoner. De fem første strategiene består i at tiltak velges basert på ett eller flere av følgende fire kriterier: kostnadseffektivitet, styringseffektivitet, klimaeffekt og helseeffekt. Den sjette gruppen består av tiltakene som bidrar til å oppfylle våre forpliktelser under Kyotoprotokollen.

Den første reduksjonsstrategien benytter kun kostnadseffektivitet som utvelgelseskriterium og gir det største antallet tiltak, nemlig de 14 tiltakene som koster mindre enn kr 600/tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ når helseeffekten er inkludert. Den neste reduksjonsstrategien resulterer i 12 tiltak som er kostnadseffektive og har middels eller høy styringseffektivitet, dvs. to kostnadseffektive, men lite styringseffektive tiltak faller bort.

Den tredje reduksjonsstrategien gir fem (av de 12) kostnads- og styringseffektive tiltak som har middels eller høy klimaeffekt. Tilsvarende gir den fjerde reduksjonsstrategien fem (av de 12) kostnads- og styringseffektive tiltak som har middels eller høy helseeffekt.

Den femte reduksjonsstrategien gir tre tiltak som er kostnads- og styringseffektive og har både middels eller høy klimaeffekt og middels eller høy helseeffekt.

Til slutt omtaler vi de tiltakene som bidrar til å oppfylle våre forpliktelser under Kyotoprotokollen. Dette er fem tiltak som primært reduserer HFK-er og metan.

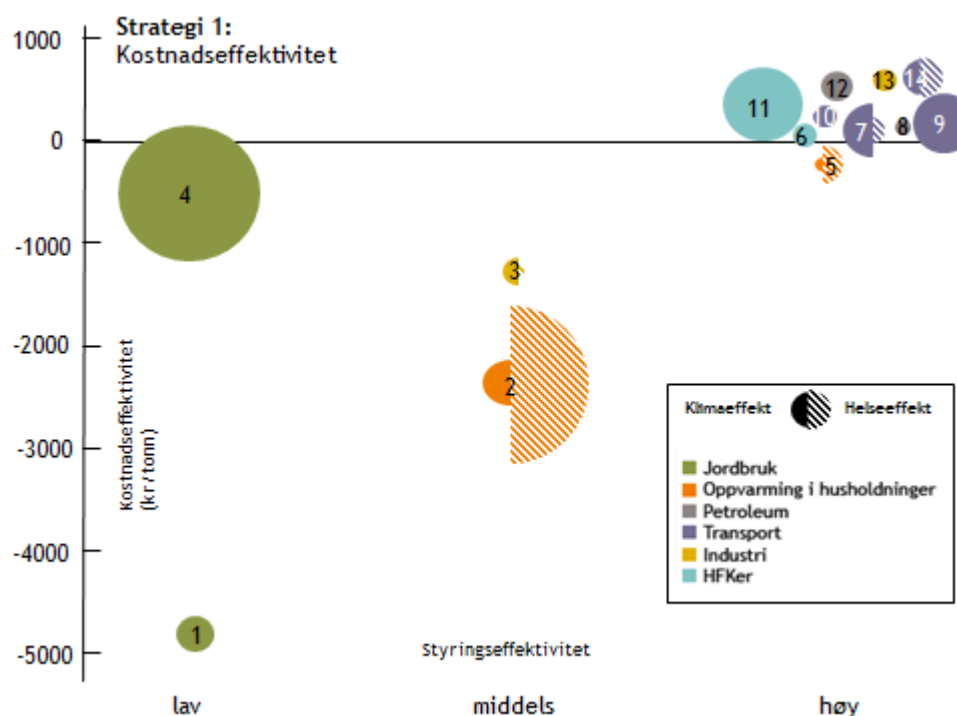
Reduksjonsstrategi 1: Kostnadseffektivitet som eneste utvelgelseskriterium (14 tiltak)

Dersom vi velger bort alle tiltakene med dårlig kostnadseffektivitet (dvs. over kr 600/tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$ i grønn kurve, vist utenfor det skraverete feltet i figur 6.5), medfører dette at fire av de 18 utredede tiltakene er vurdert som for dyre å gjennomføre i denne sammenheng. Det gjelder biogasstiltakene og tiltak for ettermontering av partikkelfilter på tunge kjøretøy og traktorer. Vi gjør oppmerksom på at disse tiltakene kan være relevante å gjennomføre selv om disse ikke fyller kriteriene som er lagt til grunn for denne analysen.

Figur 6.6 er en grafisk fremstilling av de 14 kostnadseffektive tiltakene. Tiltakene er nummerert i samme rekkefølge som i tabell 6.1. Plasseringen av sirkelen indikerer størrelsen på kostnadseffektivitet og styringseffektivitet for hvert av tiltakene. I tillegg indikerer størrelsen på sirklene lav, middels eller høy klima- og helseeffekt. Fylte sirkler viser klimaeffekt av tiltakene og skraverete sirkler viser helseeffekt av tiltakene.

Dersom kostnadseffektivitet er eneste utvalgs-kriterium, vil de 14 gjenværende tiltakene være aktuelle å gjennomføre (Figur 6.6). Tiltak 1-5 har negativ kostnadseffektivitet. Dette gjelder *Redusert spill av mat, Forsert utskifting til nye ovner og pellets-kaminer, Energieffektivisering i deler av industrien, Overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt, Bedre fyringsteknikk, ettersyn og vedlikehold*. De fem tiltakene er her listet etter stigende kostnad per redusert tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10, Norge})}$, dvs. etter avtagende kostnadseffektivitet (Tabell 6.1, Figur 6.5 fem første grønne punkter). Tiltak

6-14 har kostnadseffektivitet som er positiv, men lavere enn 600 kr/tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial for tiltakene vil være om lag 3,7 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 (som er 31 millioner $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$ i 2030) på 12 % og 5 % i forhold til hele referansebanen (som er 76,5 millioner $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$ i 2030). Årlig helsegevinst vil være om lag 1,4 milliarder NOK.



Figur 6.6: Grafisk fremstilling av tiltakene som følger av reduksjonsstrategi 1. Tiltakene er nummerert etter stigende kostnad per redusert tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$ (dvs. fallende kostnadseffektivitet) på samme måte som i tabell 6.1.

Reduksjonsstrategi 2: Styringseffektivitet som tilleggskriterium til kostnadseffektiviteten (12 tiltak)

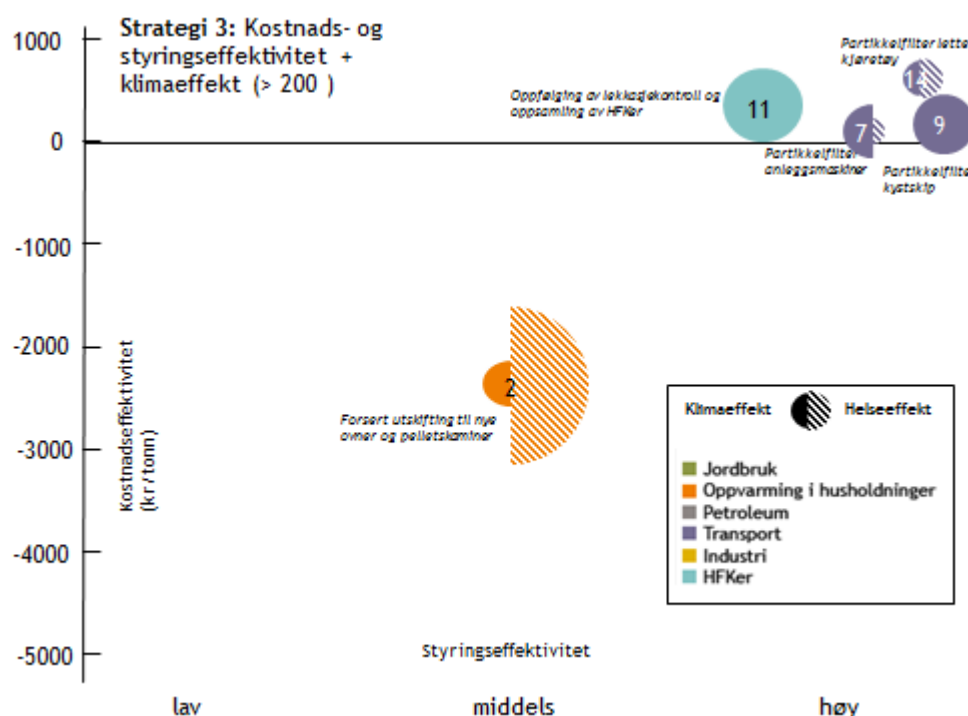
Dersom det settes som krav at tiltakene ikke bare skal være kostnadseffektive, men også ha middels til høy styringseffektivitet, vil de to jordbrukstiltakene falle bort (*Overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt* og *Redusert spill av mat*, tiltak 4 og 1 i figur 6.6). Utelatelse av disse to tiltakene vil medføre at muligheten for å redusere metanutslipp blir svært redusert.

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial for disse 12 tiltakene vil være om lag 2,6 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 8 % og 3 % i forhold til hele referansebanen. Årlig helsegevinst reduseres ikke og er fortsatt 1,4 milliarder NOK ettersom jordbrukstiltakene ikke har noen verdsatt helseeffekt i denne analysen.

Det kan likevel være verdt å tilstrebe å gjennomføre jordbrukstiltakene, spesielt *Redusert spill av mat*, ettersom de er svært samfunnsøkonomisk lønnsomme, bidrar til måloppnåelse under Kyoto og kan komplementere Avfallsstrategien (MD, 2013) på klimafeltet. Styringseffektiviteten vil kunne bedres betraktelig dersom tiltakene nedskaleres.

Reduksjonsstrategi 3: Kostnads- og styringseffektive tiltak med middels/høy klimaeffekt (5 tiltak)

Dersom man blant de 12 kostnads- og styringseffektive tiltakene i reduksjonsstrategi 2 vil prioritere tiltakene med høy eller middels klimaeffekt, vil dette være *Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er*, *Ettermontering og innfasing av dieselpartikkelfilter (DPF) kystskip*, *Forsert utskifting til nye ovner og pelletskaminer*, *Ettermontering DPF anleggsmaskiner*, *Ettermontering DPF lette kjøretøy*, det vil si tiltak 11, 9, 2, 7 og 14 i figur 6.7. Tiltakene er listet etter avtagende klimaeffekt. Det er noe usikkerhet knyttet til klimaeffekten av partikkelfiltertiltakene ettersom tiltakene kan gi en mindre økning i CO₂-utslipp. Dette bør utredes nærmere (kapittel 5.4.2 og 6.2.3).



Figur 6.7: Grafisk fremstilling av tiltakene som følger av reduksjonsstrategi 3. Tiltakene er nummerert etter stigende kostnad per redusert tonn CO_{2e(GTP10,Norge)} (dvs. fallende kostnadseffektivitet) på samme måte som i tabell 6.1

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial vil være om lag 1,7 millioner tonn CO_{2e(GTP10,Norge)}. Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 5 % og 2 % i forhold til hele referansebanen. Tre av disse tiltakene har verdsatt helseeffekt og vil ha en årlig helsegevinst på om lag 1,1 milliarder NOK. avgjørelse

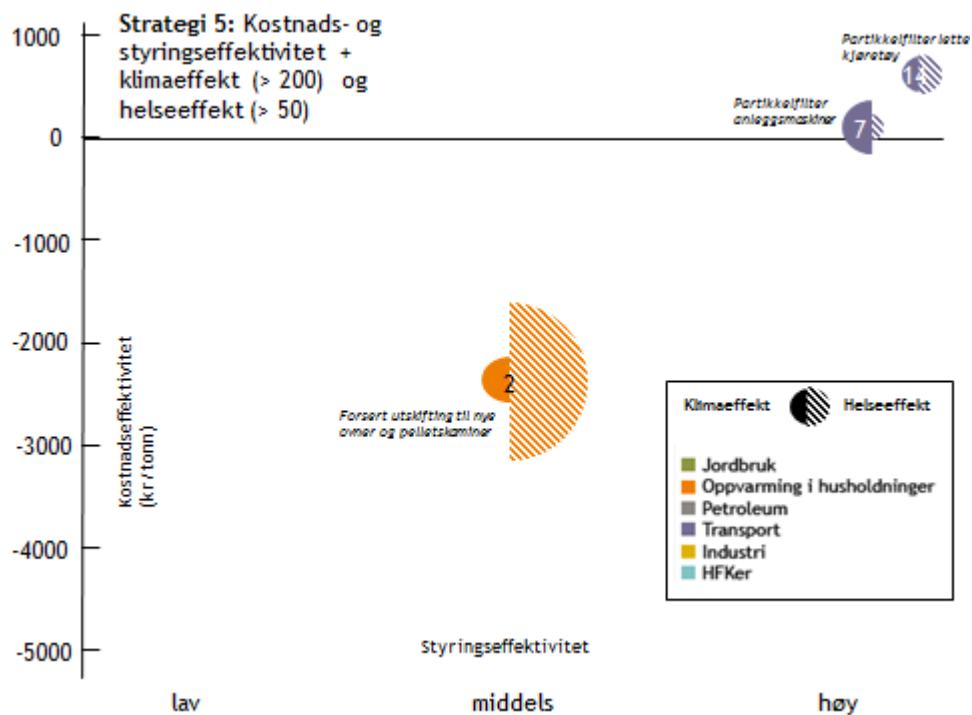
Reduksjonsstrategi 4: Kostnads- og styringseffektive tiltak med middels/høy helseeffekt (5 tiltak)

Dersom man blant de 12 kostnads- og styringseffektive tiltakene i reduksjonsstrategi 2 vil prioritere tiltakene med høy eller middels helseeffekt i stedet for klimaeffekt, peker følgende tiltak seg ut: *Forsert utskifting til nye ovner og pelletskaminer*, *Bedre fyringsteknikk*, *ettersyn og vedlikehold*, *Ettermontering av dieselpartikkelfilter (DPF) lette kjøretøy*, *Ettermontering DPF anleggsmaskiner* og *Energieffektivisering i deler av industrien*, det vil si tiltak 2,5, 14, 7 og 3 i figur 6.6. Tiltakene er listet etter avtagende helseeffekt. Det er noe usikkerhet knyttet til helseeffekten for de to partikkelfiltertiltakene ettersom tiltakene kan gi en økning i NO₂-utslippene. Dette bør utredes nærmere (kapittel 5.4.2 og 6.2.3).

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial vil være om lag 1,1 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 4 % og 1 % i forhold til hele referansebanen. Årlig helsegevinst for disse fem tiltakene vil være om lag 1,4 milliarder NOK, dvs. hele helsegevinsten for de 14 kostnadseffektive tiltakene.

Reduksjonsstrategi 5: Kostnads- og styringseffektive tiltak med både middels/høy klimaeffekt og middels/høy helseeffekt (3 tiltak, vinn-vinn)

Dersom man blant de 12 kostnads- og styringseffektive tiltakene i reduksjonsstrategi 2 vil prioritere tiltakene som har både høy eller middels klimaeffekt og høy eller middels helseeffekt, peker følgende tre tiltak seg ut *Forsert utskifting til nye ovner og pelletskaminer, Ettermontering av dieselpartikkelfilter (DPF) anleggsmaskiner, Ettermontering DPF lette kjøretøy, dvs tiltak 2, 7 og 14 som vist i figur 6.8.* Det er noe usikkerhet knyttet til helseeffekten for de to partikkelfiltertiltakene ettersom tiltakene kan gi en økning i NO_2 -utslippene. Dette bør utredes nærmere (kapittel 5.4.2 og 6.2.3).



Figur 6.8: Grafisk fremstilling av tiltakene som følger av reduksjonsstrategi 5. Tiltakene er nummerert etter stigende kostnad per redusert tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$ (dvs. fallende kostnadseffektivitet) på samme måte som i tabell 6.1

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial vil være om lag 0,9 millioner tonn $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$. Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 3 % og 1 % i forhold til hele referansebanen. Årlig helsegevinst vil være om lag 1,2 milliarder NOK.

Tiltak som bidrar til oppfyllelse av forpliktelsene under Kyotoprotokollen

Fem av tiltakene reduserer bare HFK-er eller primært metan som er regulert under Kyotoprotokollen. HFK-tiltakene er *Redusere fyllingsbehovet og benytte HFK-er med lav*

klimaeffekt og Oppfølging av lekkasjekontroll og oppsamling av HFK-er. Tiltakene som primært reduserer metan er Redusert spill av mat, Overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt og Økt gjenvinning av nmVOC og metan ved råoljelasting offshore. Disse tiltakene vil bidra til måloppnåelse for nasjonale klimamål for klimagasser.

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial vil være om lag 1,7 millioner tonn CO_{2e}(GTP10,Norge). Dette gir en reduksjon i forhold til kortlevde klimadrivere i referansebanen i 2030 på 5 % og 2 % i forhold til hele referansebanen. Ingen av disse tiltakene har derimot en helseeffekt som er verdsatt i denne analysen.

Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensial, prosentvis reduksjon i forhold til de kortlevde klimadriverne i referansebanen og i forhold til hele referansebanen, samt gjennomsnittlig årlig helsegevinst for disse seks tiltaksgruppene er oppsummert i tabell 6.2 under.

Tabell 6.2 Effekter av tiltak basert på ulike reduksjonsstrategier

Reduksjonsstrategi		Reduksjonspotensial i millioner tonn CO _{2e} (GTP10,Norge) /år	Reduksjon i forhold til de kortlevde klimadriverne i referansebanen	Reduksjon i forhold til hele referansebanen	Helsegevinst i milliarder NOK/år
1	Kostnadseffektive tiltak	3,7	12 %	5 %	1,4
2	Kostnads- og styringseffektive tiltak	2,6	8 %	3 %	1,4
3	Kostnads- og styringseffektive tiltak med middels/høy klimaeffekt	1,7	5 %	2 %	1,1
4	Kostnads- og styringseffektive tiltak med middels/høy helseeffekt	1,1	4 %	1 %	1,4
5	Kostnads- og styringseffektive tiltak med både middels/høy klimaeffekt og middels/høy helseeffekt	0,9	3 %	1 %	1,2
6	Regulert under Kyotoprotokollen	1,7	5 %	2 %	0

6.2.3. Usikkerheter og følsomhetsanalyser

I likhet med andre tiltaksanalyser er denne analysen beheftet med usikkerhet. Slike usikkerheter er forbundet med tiltakenes kostnader, teknologisk modenhet av flere lite utprøvde teknologier og hvorvidt virkemidler kan innrettes slik at det fulle tekniske reduksjonspotensialet hentes ut. For partikkelfilter er det usikkerhet knyttet til i hvilken grad disse medfører økning i drivstofforbruket og NO₂-utslipp (kapittel 5.4.2 og kapittel 3.5).

I tillegg er denne analysen beheftet med naturvitenskapelige usikkerheter (Vedlegg 11 inneholder mer informasjon). Dette skyldes at kunnskapsgrunnlaget er umodent og har utviklet seg parallelt med arbeidet med handlingsplanen. Disse er knyttet til bl.a. utslippsregnskap og beregning av utslippsreduksjoner, klima-, helse- og miljøeffekt. Usikkerheten i utslippsregnskapet er størst for BC og OC. For klimaeffekten er usikkerhetene størst for BC og til dels også for OC og SO₂ som er modellert uten at det er tatt hensyn til effekter på skydannelse og skyers egenskaper som det ikke var tilstrekkelig kunnskapsgrunnlag for å inkludere på det aktuelle tidspunktet (kapittel 2.4). Likeledes er det knyttet store usikkerheter til hvordan disse effektene av BC skal modelleres, spesielt med tanke på levetiden og vertikalfordelingen i atmosfæren. Selv om det er ikke-kvantifiserte usikkerheter relatert til klimaeffekten av tiltaket, antar vi at alle utredede tiltak har klimaeffekt på kort sikt. Tiltakene vil bli dyrere dersom klimaeffekten er overestimert.

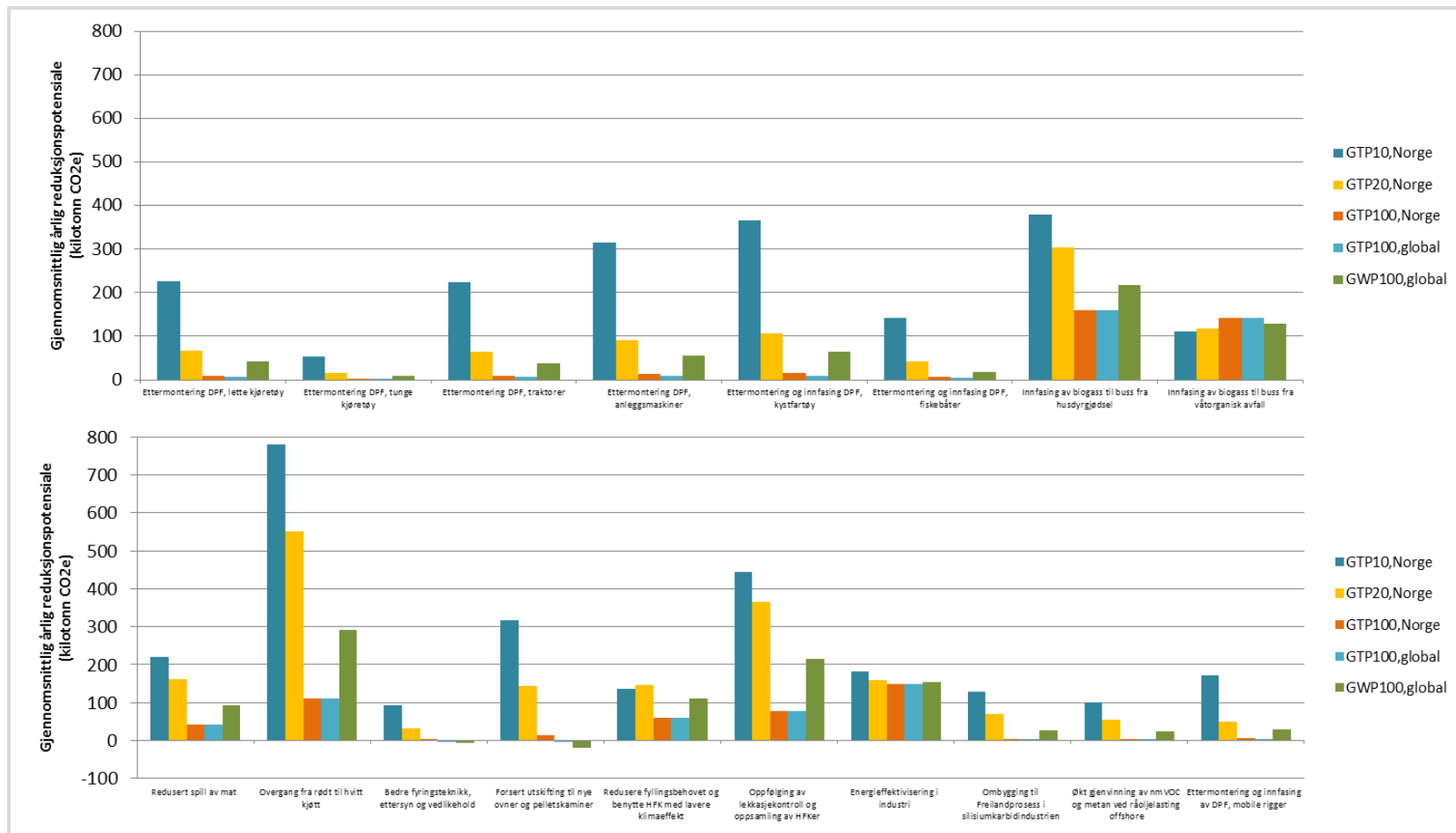
Usikkerheten i helseeffekten antas å være vesentlig mindre enn for klimaeffekten. For helseeffektene er usikkerheten størst for BC-reduksjonene som i prinsipp er verdsatt som tilhørende PM₁₀-reduksjoner. For de åtte tiltakene som har helseeffekt, kan vi ikke anslå om helseeffekten over- eller underestimeres når vi verdsetter PM₁₀-reduksjonene i stedet for BC-reduksjonene av et tiltak. (kapittel 2.12.1).

Det må gjennomføres mer forskning og utredning for å redusere disse usikkerhetene (se kapittel 3.5 og vedlegg 11).

Vektfaktor

I tillegg er det usikkerhet knyttet til vekt faktoren (som følge av at den modelleres) og betydningen valg av vekt faktor har for beregning av klimaeffekten og dermed kostnadseffektiviteten for tiltakene. Hvordan skifte av vekt faktor påvirker beregning av klimaeffekt er oppsummert i vedlegg 11. Analysen indikerer at klimaeffekten av tiltakene reduseres dersom tidshorisonten økes fra 10 til 100 år, bortsett fra for *Innfasing av biogass til buss fra våtorganisk avfall*. Følsomhetsanalysen indikerer at klimaeffekten av dette tiltaket vil være bedre på lang sikt. Årsaken til det er økningen i metanutslipp og reduksjonen i NO_x som dette tiltaket medfører. De økte metanutslippene får mindre effekt på lang sikt, ergo bedres klimaeffekten. NO_x reduksjonene leder til mindre oppvarming på lang sikt, og det bidrar også til at klimaeffekten blir bedre. Man skulle kanskje tro at dette resonnementet også gjaldt for biogasstiltaket basert på husdyrgjødsel. Det gjør det ikke fordi tiltaket samlet sett gir en reduksjon i metanutslipp på grunn av at reduksjonen i metanutslipp fra produksjon av biogass langt overstiger utslippet forbundet med anvendelsen som drivstoff i buss.

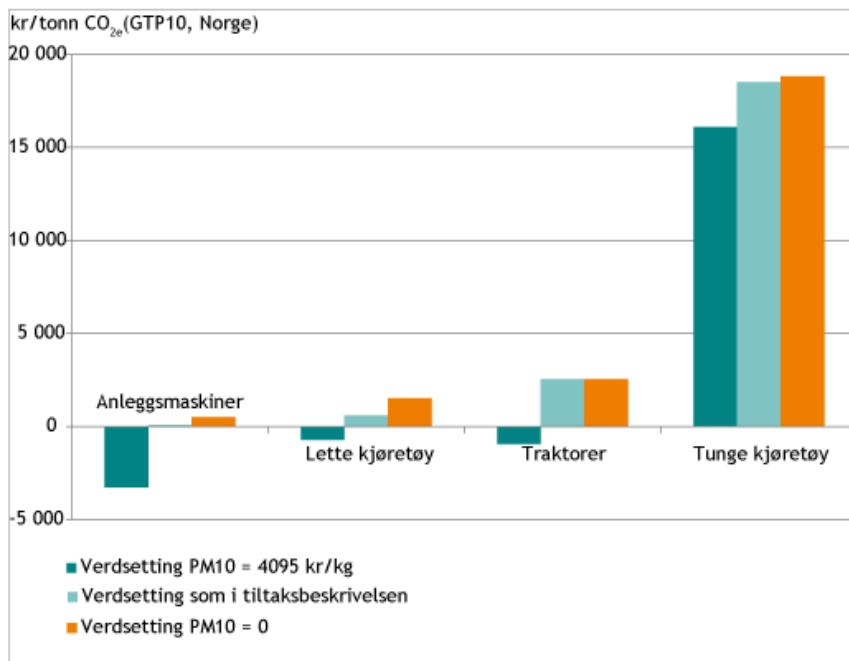
Vedfyringstiltakene framstår som lite robuste for valg av vekt faktor og hvor utslippet skjer. Følsomhetsanalysene indikerer at tiltakene, dvs. utslippsreduksjoner fram til 2030, ikke vil ha klimaeffekt på lang sikt. På lang sikt er vedfyringstiltakene primært et helsetiltak. Ettersom ovner og kaminer har lang levetid, vil tiltaket imidlertid gi utslippsreduksjoner også etter 2030, noe som vil forlenge den kortsiktige klimaeffekten av tiltaket.



Figur 6.6: Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensiale i kilotonn CO₂e for 18 ikke-overlappende tiltak ved bruk av ulike vektfactorer (GTP10,Norge, GTP20,Norge, GTP100,Norge, GTP100,global og GWP100, global)

Verdsettingsfaktor

Det også usikkerheter knyttet til den beregnede helsefordelen for tiltak som har verdsatt helseeffekt. Ved å benytte ulike verdsettingsfaktorer på for eksempel partikkelfiltertiltakene ser vi hvor mye kostnadseffektiviteten endrer seg ved bruken av de forskjellige verdsettingene (figur 6.5). De mørkegrønne stolpene representerer tiltakskostnaden dersom den høyeste verdsettingen av reduserte PM₁₀-utslipp benyttes. Det tilsvarer at hele utslippsreduksjonen skjer i Oslo eller Trondheim. De oransje stolpene representerer tiltakskostnaden dersom helseeffekten av PM₁₀-utslippsreduksjonen ikke verdsettes. Det antas å være liten eller ingen helsegevinst når kjøretøyene benyttes utenfor tettbebygde strøk. De lysegrønne stolpene viser tiltakskostnaden med verdsettingfaktoren som er benyttet i de ulike tiltakene (forklart i kapittel 5.4 for hvert tiltak).



Figur 6.7: Tiltakskostnaden (kr/tonn CO_{2e}(GTP10,Norge)) for ettermontering av partikkelfilter på ulike kjøretøy/maskiner og med ulike verdsettingsfaktorer

Et eksempel på bruk av ulike verdsettingsfaktorer for tiltak på anleggsmaskiner er vist lengst til venstre i Figur 6.7. I tiltaksbeskrivelsen er tiltaket beregnet å ha en middels kostnadseffektivitet på 67 kr per tonn CO_{2e}(GTP10,Norge) (lysegrønn stolpe). Dette er basert på en forutsetning om at utslippene i gjennomsnitt finner sted i tettbygde strøk. Helseeffekten verdsettes til 462 kr/kg PM₁₀.

Dersom vi antar at anleggsmaskinene benyttes utenfor tettbebygde strøk og dermed ikke verdsetter helseeffekten av PM₁₀-reduksjonene, blir tiltaket dyrere (oransje stolpe).

Dersom vi antar at anleggsmaskinene kun benyttes i Oslo og Trondheim, verdsettes helseeffekten mye høyere (verdsetting av PM: 4095 kr/kg PM₁₀), og tiltaket får en

tiltakskostnad på tilnærmet -3200 kr/tonn CO_{2e}(GTP10,Norge). Regnestykket knyttet til store byer er kun ment som en illustrasjon ettersom det i praksis vil være vanskelig å begrense bruk av spesifikke anleggsmaskiner til byområder.

Økning i drivstofforbruk for partikkelfilter

Et partikkelfilter vil øke drivstofforbruket til kjøretøyet/maskinen noe. Basert på flere kilder, bl.a. Rutland m. fl. (2009), anslår vi økningen å være i størrelsesorden 3-8 %. Dette er her eksemplifisert ved å se på en dieselbil: Gitt at forbruket øker med 4 % vil en bil som kjører 10 000 km årlig ha et økt dieselforbruk på rundt 32 liter, noe som gir et økt CO₂-utslipp på 85 kg. Samtidig øker driftskostnaden for bilen med i underkant av 200 kr/år. Totalt sett vil dette redusere klimaeffekten av tiltaket *Ettermontering av partikkelfilter på lette kjøretøy* med rundt 8 %. Kostnadseffektiviteten faller til rundt 840 kr/tonn CO_{2e(GTP10, Norge)}, dvs. med rundt 40 % sammenlignet med den opprinnelige. En tilsvarende effekt kan forventes i de andre tiltakene der partikkelfilter benyttes.

6.2.4. Behov for videre tiltaks- og virkemiddelutredninger

I tillegg til tiltakene omtalt over har vi identifisert en rekke reduksjonsmuligheter vi ikke har kunnet kvantifisere tiltak for per i dag pga. manglende data- og/eller kunnskapsgrunnlag. Vi ser behov for å hente inn mer informasjon for å vurdere om det kan finnes gode tiltak blant disse reduksjonsmulighetene. Slike reduksjonsmuligheter er spesielt omtalt for petroleumssektoren (5.1) og industrisektoren (5.2). Per i dag har vi heller ikke nødvendig informasjon for å prioritere hvilken informasjon som bør hentes inn på kort sikt og hvilken som bør hentes inn på litt lengre sikt. Dette må vurderes videre.

Det er imidlertid særlig stor usikkerhet knyttet til størrelsen på utslippene fra fakling (offshore og land) og kaldventilering/diffuse utslippskilder offshore. Miljødirektoratet anbefaler at det på kort sikt igangsettes et prosjekt for å forsøke å redusere disse usikkerhetene.

Som beskrevet i 3.2.2 kan det også ses videre på reduksjoner av kortlevde klimadrivere i CO₂-tiltak for å vurdere hvordan utslipp av kortlevde klimadrivere kan reduseres mest effektivt. Fordi det er nødvendig å dempe klimaendringene raskt, bør ikke dette stå i veien for å igangsette de mest egnede tiltakene utredet i denne rapporten.

Det er videre behov for å teste ut bl.a. partikkelfilterteknologi og VOC-gjenvinningsteknologi, samt en mer detaljert virkemiddelutredning. Det kan også vurderes å se nærmere på mulige tverrgående virkemidler som eksempelvis et tiltaksfond (se kapittel 5.7).

6.2.5. Sammenligning med andre studier

Det er verdt å presisere at det ikke er mulig å gjøre noen direkte sammenlikning mellom kostnadseffektiviteten for tiltak på kortlevde klimadrivere utredet i denne handlingsplanen, verken mot tradisjonelle klimatiltak som i Klimakur 2020 (Klif, 2010) eller McKinsey-kurven (Enkvist m. fl., 2007), eller med kvotepris. Klimakur 2020 omfattet de langlevde klimagassene CO₂, N₂O, PFK-er, SF₆, samt også CH₄ og HFK-er. Utslippsreduksjonene er i Klimakur 2020 beregnet i form av CO_{2e(GWP100, global)}, mens handlingsplanen har lagt CO_{2e(GTP10, Norge)} til grunn for beregninger av klimaeffekt.

Referanser

St. prp. nr. 1 (2011), Statsbudsjettet 2012, Finansdepartementet.

St. mld. nr. 21 (2012), Norsk klimapolitikk (Klimameldingen), Miljøverndepartementet.

Aamaas, B., m. fl. (2012), How to compare different short-lived climate forcings - a review of emission metrics, *CICERO rapport til Klif*.

Aamaas, B., m. fl. (2011), Elemental carbon deposition to Svalbard snow from Norwegian settlements and long-range transport, *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 63(3), 340-351.

Aass, L. (2014), Personlig kommunikasjon, NMBU, http://www.animalia.no/upload/Filer%20til%20nedlasting/Animalia/BIOFORSK_Aass_NMBU.pdf

Amann, M., m. fl. (2013), Regional and Global Emissions of Air Pollutants: Recent Trends and Future Scenarios, *Annual Review of Environment and Resources*, 38(1).

AMAP (2012), Overview of Arctic Monitoring Stations for Ozone, its Precursors and Black Carbon, *upublisert notat sendt til AMAP 30.08.2012*, AMAP Expert Group on Short-Lived Climate Forcers v/ Sabine Eckhardt, NILU.

Anenberg, S. C., m. fl. (2011), Impacts of global, regional, and sectoral black carbon emission reductions on surface air quality and human mortality, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 7253-7267.

Anenberg, S. C., m. fl. (2012), Global Air Quality and Health Co-benefits of Mitigating Near-Term Climate Change through Methane and Black Carbon Emission Controls, *Environmental Health Perspectives*, 120(6), 831-839.

Animalia (2013), Økt storfekjøttproduksjon i Norge, *Rapport fra ekspertgruppen*.

Arctic Council Task Force on short-lived climate forcings (2011), Progress report and recommendations for ministers, Arktisk råd.

Bond, T. C., m. fl. (2013), Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380-5552.

Carbon limits (2013), Evaluering av faklingsstrategi, teknikker for reduksjon av fakling og faklingsutslipp, utslippsfaktorer og metoder for bestemmelse av utslipp til luft fra fakling, *Utarbeidet for Miljødirektoratet*, CL-2013-29, M82/2013.

Carslaw, D., and G. Rhys-Tyler (2013), Remote sensing of NO₂ exhaust emissions from road vehicles London, *Defra*, A report to the City of London Corporation and London Borough of Ealing.

Collins, W., m. fl. (2013), Global and regional temperature-change potentials for near-term climate forcings, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 2471-2485.

Collins, W. J., m. fl. (2010), How vegetation impacts affect climate metrics for ozone precursors, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 115.

Dentener F. , m. fl. (2006), Emission of primary aerosol and precursor gases in the years 2000 and 1750: Prescribed data-sets for AeroCom, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 4321-4344.

EC (2008), Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.

EEA (2013), Air Quality in Europe, *European Environment Agency*, 9/2013.

Eleftheriadis, K., m. fl. (2009), Aerosol black carbon in the European Arctic: Measurements at Zeppelin station, Ny-Alesund, Svalbard from 1998-2007, *Geophysical Research Letters*, 36.

Enkvist, P.-A., m. fl. (2007), A cost curve for greenhouse gas reduction, *McKinsey Quarterly*, Number 1.

EPA, U. (2012), Report to congress on black carbon: Department on the interior, environment, and related agencies appropriations act, 2010.

European Commission (2007), EU BREF Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others s. 461.

FIN (2005), Veileder i samfunnsøkonomiske analyser, *Finansdepartementet*, R-0603B.

FIN - St. mld. nr. 12 (2013), Perspektivmeldingen, *Finansdepartementet*.

FOEN (2012), Less soot from diesel engines: Switzerland's success in reducing emissions.

Forsström, S., m. fl. (2009), Elemental carbon distribution in Svalbard snow, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 114.

Fry, M. M., m. fl. (2012), The influence of ozone precursor emissions from four world regions on tropospheric composition and radiative climate forcing, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 117.

Fuglestad, J. S., m. fl. (2010), Transport impacts on atmosphere and climate: Metrics, *Atmospheric Environment*, 44(37), 4648-4677.

Hagman, R. (2008), Diesel cars: Particle filters - refitting and costs, *TØI rapport*, 940.

Hagman, R. (2013), Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi., *TØI rapport* 1259/2013.

Hirdman, D., m. fl. (2010), Long-term trends of black carbon and sulphate aerosol in the Arctic: changes in atmospheric transport and source region emissions, *Atmospheric Chemistry Physics*, 10(9351-9368).

Hodnebrog, Ø., m. fl. (2013), Klimaeffekt av norske utslipp av kortlevde klimadrivere, *CICERO rapport til Klif*.

IPCC (2007), Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *AR4*.

IPCC (2013), Climate Change 2013: The physical scientific basis. Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (WGI AR5), *AR5*.

Janssen, N. A. H., m. fl. (2011), Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM10 and PM2.5, *Environmental Health Perspectives*, 119(12), 1691-1699.

Klif (2010), Klimakur 2020: Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020, TA 2590.

Klif (2012a), Overvåkning av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfæriske tilførsler, 2011, TA 2940.

Klif (2012b), Monitoring of greenhouse gases and aerosols at Svalbard and Birkenes: Annual report 2009, TA, 2805.

Klif (2012c), Overskridelser av tålegrenser for forsurening og nitrogen for Norge, TA 2991.

Klif (2013a), Underlagsmateriale til tverrsektoriell biogass-strategi, TA 3020.

Klif (2013b), Greenhouse gas emissions 1990-2011. National Inventory Report, TA 3030.

Klif/SSB (2013), miljostatus.no og ssb.no.

Kvaal, Ø. (2011), Prosjekt til fordypning: Anleggsmaskinføreren, *Byggenæringens Forlag*.

Lillemo, S. C., m. fl. (2013), Households' heating investments: The effect of motives and attitudes on choice of equipment, *Biomass and Energy*.

Lim, S. S., m. fl. (2012), A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010, *Lancet*, 380(9859), 2224-2260.

Magnani, F., m. fl. (2007), The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests, *Nature*, 447(7146), 849-851.

McEwan, J., and M. Johnson (2013), Black carbon particulate matter emission factors for buoyancy-driven associated gas flares, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62:3, 307-321.

MD (2013), Fra avfall til ressurs, T-1531.

Miljødirektoratet (2013a), Forslag til handlingsplan for norske utslipp av kortlevde klimadrivere, M89/2013(<http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2013/Desember-2013/Forslag-til-handlingsplan-for-norske-utslipp-av-kortlevde-klimadrivere/>).

Miljødirektoratet (2013b), NOx-analyse, rapport under arbeid. Forventet publisert sommer 2014.

Miljødirektoratet (2013c), Underlagsrapport til Forslag til handlingsplan for norske utslipp av korte klimadrivere, M 90/2013.

Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet (2013), Luftkvalitetskriterier. Virkninger av luftforurensning på helse, *Rapport 2013:9*.

Myhre, G., m. fl. (2013), Radiative forcing of the direct aerosol effect from AeroCom Phase II simulations, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 1853-1877.

NIOSH (1999), Elemental carbon, *NIOSH Manual of Analytical Methods*.

Olivié, D. J. L., and G. P. Peters (2012), The impact of model variation in CO₂ and temperature impulse response functions on emission metrics, *Earth Syst. Dynam. Discuss.*, 3, 2(935-977).

Pan, A., m. fl. (2012), Red meat consumption and mortality: Results from 2 prospective cohort studies, *Archives of Internal Medicine*, 172(7), 555-563.

Penner, J., m. fl. (1998), Climate forcing by carbonaceous and sulfate aerosols, *Climate Dyn.*, 14(12), 839-851.

Petzold, A., m. fl. (2013), Recommendations for reporting black carbon measurements, *Atmospheric Chemistry Physics*, 13, 8365-8379.

AMAP Technical Report (2011), The impact of black carbon on arctic climate, 72 pp.

Rosendahl, K. E., m. fl. (1998), Social costs of crop damage from ground-level ozone. Social costs of air pollution and fossil fuel use. A macroeconomic approach., *Statistisk sentralbyrå (Sosiale og økonomiske studier*, 99) pp. 45-66.

Russel, L. (2003), Aerosol organic-mass-to-organic-carbon ratios, *Environ. Sci. Technol.*, 37, 2982-2987.

Rutland, C., m. fl. (2009), Investigation into Different DPF Regeneration Strategies Based on Fuel Economy Using Integrated System Simulation, SAE 2009-01-1275.

Samstad, H., m. fl. (2010), Den norske verdsettingsstudien, sammendragsrapport, TØI/Sweco Rapport 1053/2010.

Seljeskog, M., m. fl. (2013), Particle emissions factors for wood stove firing in Norway, *SINTEF Energy Research*.

SFT (2005), Marginale miljøkostnader ved luftforurensning. En oppsummeringsrapport av resultater fra SFTs LEVE-prosjekt (Luftforurensninger - Effekter og Verdier) og SFTs tiltaksanalyser for klimagasser, NO_x, SO₂, nmVOC og NH₃, TA-2100/2005.

SFT (2006), Tiltaksanalyse for partikkelutslipp.

SFT (2009), Langtransporterte luftforurensninger og effekter i Norge - status og fremtidsutsikter, TA 2576.

Shindell, D., and G. Faluvegi (2009), Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century, *Nature Geoscience*, 2, 294-300.

Shine, K. P. (2009), The global warming potential-the need for an interdisciplinary retrieval, *Climatic Change*, 96(4), 467-472.

Sitch, S., m. fl. (2007), Indirect radiative forcing of climate change through ozone effects on the land-carbon sink, *Nature*, 448(7155), 791-U794.

Skeie, R. B., m. fl. (2011), Black carbon in the atmosphere and snow, from pre-industrial times until present, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(14), 6809-6836.

SLF (2012), Statistikk for halmbrenning i Norge *Upublisert notat*.

Smith, S. J., and A. Mizrahi (2013), Near-term climate mitigation by short-lived forcers, *Proc Natl Acad Sci U S A*.

SSB (2001), Uncertainties in emissions of long-range air pollutants, Reports 2001/37.

SSB (2013), Emissions of black carbon and organic carbon in Norway 1990-2011, Document 13/2013.

Stuer-Lauridsen, F., m. fl. (2012), Investigation of appropriate control measures (abatement technologies) to reduce Black Carbon emissions from international shipping, *Study Report. LITEHAUZ, Denmark*.

Tørseth, K., m. fl. (2012), Introduction to the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) and observed atmospheric composition change during 1972-2009, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 5447-5481.

UNECE (2012a), Revised Strategy for EMEP for 2010-2019, ECE/EB.AIR/2009/16/Rev.1.

UNECE (2012b), Economic commission for Europe: Revised strategy for 2010-2019, 16.

UNEP/WMO (2011), Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone, Summary for policymakers, *United Nations Environment Programme (UNEP)*, Nairobi, Kenya.

Vestreng, V., m. fl. (2005), Inventory Review 2005. Emission Data reported to LRTAP Convention and NEC Directive Initial review for HMs and POPs, *EMEP Report*.

Wang, R., m. fl. (2012), Black carbon emissions in China from 1949 to 2050, *Environmental Sciences & Technology*, 46(14), 7595-7603, doi: 7510.1021/es3003684.

WHO (2012), Health effects of black carbon.

WHO/EU (2013), Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP project.

Vedlegg 1: Ordliste

Vi oppsummerer her nøkkelbegrep slik de er benyttet i denne rapporten.

Begrep	Beskrivelse
Aerosoler	Faste stoffer i luft med størrelse på 0,1-10 mikrometer som reflekterer eller absorberer innkommende solstråling. Aerosoler kan enten slippes direkte ut i atmosfæren eller dannes fra utslipp av gasser. Aerosoler slippes ut både fra menneskeskapte og naturlige kilder. Samlet sett fører utslipp av aerosoler i et GWP100 perspektiv i følge IPCC (2007) til en avkjøling av klima. Den direkte effekten gir avkjøling, albedoeffekten gir oppvarming, mens den indirekte effekten er beheftet med størst usikkerhet. Her er det til og med usikkerhet rundt fortegnet på effekten; avkjøling eller oppvarming.
Albedo	Refleksjonsevnen til jordas overflate. Albedo blir uttrykt ved hvor stor andel som blir reflektert av den innkommende solstråling som treffer bakken. Lyse overflater som snø og is har høy albedo i forhold til hav og barmark/skog.
Ammekyr	Ammekyr er kyr som holdes kun for kjøttproduksjon. Kjøttproduksjonen skjer i form av kalver og ved endt brukstid av mordyrene. Mordyrene dier kalvene over lengre tid og kan gå sammen med kalvene i opp til sju måneder. Kjøtt fra ammekyr og deres kalver selges som rødt kjøtt (SLF).
Bakkenær ozon (O₃)	Ozon som dannes i den aller nederste delen av atmosfæren og som påvirker menneskers helse og økosystemer.
Biogass	Gass som er produsert fra biomasse.
Biomasse	Organisk materiale, så som ved, gjødsel, våtorganisk avfall som kan produsere energi ved å bli brent eller omdannes til en gass som kan anvendes som drivstoff.
CO₂-ekvivalenter (CO_{2e})	For å kunne sammenligne klimaeffekten av ulike klimagasser/klimadrivere omregnes utslippene ved hjelp av ulike vekt faktorer (metrics). Ved å multiplisere et utslipp med vekt faktoren framkommer klima effekten av et stoff relativt til CO ₂ . Dette kalles CO ₂ -ekvivalenter som forkortes til CO _{2e} . Ekvivalensen gjelder kun ved anvendt vekt faktor.
CO_{2e}(GTP10, Norge)	I handlingsplanen beregnes klima effekten av utslippene primært ved bruk av vekt faktoren CO _{2e} (GTP10, Norge). Denne vekt faktoren angir globalt temperaturendringspotensial beregnet over en tiårsperiode forutsatt at utslippene finner sted i Norge, og er vurdert som den mest hensiktsmessige vekt faktoren for å analysere tiltak for norske utslipp av kortlevde klimadrivere på kort sikt.

Begrep	Beskrivelse
Direkte klimaeffekt	Global klimaeffekt som følge av absorpsjon av stråling i atmosfæren.
Elementært karbon (Elemental carbon, EC)	EC er karbon i reneste forstand. I handlingsplanen har vi brukt en termisk-optisk målemetode (Seljeskog mfl., 2013). EC og BC er ikke det samme, men begrepene brukes om hverandre i litteraturen. I handlingsplanprosjektet bruker vi konsekvent svart karbon (BC), dersom vi ikke refererer til spesifikke målinger.
Globalt oppvarmingspotensial (Global warming potential, GWP):	GWP er en vektfaktor/metric som brukes for å sammenligne klimaeffekten av ulike komponenter. GWP er definert som summen av klimapådrivet (se under) fra 1 kg utslipp av en klimadriver relativt til summen av klimapådrivet fra 1 kg CO₂. Ved å multiplisere utslippet av en klimadriver med den tilhørende vekt faktoren, framkommer klimaeffekten av en klimagass/klimadriver relativt til CO₂. På denne måten kan vi regne om alle klimautslipp til CO₂-ekvivalenter (CO₂e, se over). GWP med en tidshorisont på 100 år er ofte brukt for eksempel i forbindelse med Klimakonvensjonens Kyotoprotokoll.
Globalt Temperaturendringspotensiale (Global Temperature change Potential, GTP):	GTP er en vektfaktor/metric som brukes for å sammenligne klimaeffekten av ulike komponenter. GTP er den mest benyttede vekt faktoren etter GWP. GTP er definert som endring i temperatur for utslipp av en komponent relativt til temperaturendringen av samme utslippsmengde CO ₂ . GTP ser på klimaresponsen ved et gitt tidspunkt i framtiden (gir et øyeblikksbilde), og summerer således ikke opp klimaeffekten av utslipp som ikke lenger er i atmosfæren. Påvirkningen utslippene har hatt på klimasystemet (for eksempel på dyphavene) mens de var i atmosfæren blir ivaretatt. Usikkerheten i GTP er større enn usikkerheten i GWP fordi beregningen av GTP inkluderer klimasensitivitet (se Klimasensitivitet).
Helseeffekt	I dette arbeidet er helseeffekt definert som påvirkning på befolkningens helse forårsaket av gitte konsentrasjoner av én eller flere forurensningskomponenter. I tiltaksanalysen estimeres helseeffekter ved bruk av verdsettingsfaktorer som bygger på verdier av et leveår og et statistisk liv. Et tapt leveår er et leveår som ville vært spart dersom tiltak med påfølgende utslippsreduksjoner hadde blitt gjennomført.
Ikke-overlappende tiltak	Tiltak som reelt komplementerer hverandre fordi de reduserer ulike utslipp. Utslippsreduksjonene fra slike tiltak

Begrep	Beskrivelse
	kan summeres. Tiltak som er ulike alternativer for å redusere de samme utslippene, kalles overlappende tiltak. Effekten av overlappende tiltak kan ikke summeres.
Indirekte klimaeffekt	Global klimaeffekt som følger av påvirkning på skydannelse og skyers egenskaper. Effekten er beheftet med stor usikkerhet.
Kalkulasjonsrente	Kalkulasjonsrenten reflekterer at fremtidig nytte og kostnader ikke verdsettes like høyt som nytte og kostnader i dag. Valg av nivået på kalkulasjonsrenten har således stor betydning for hvilke tiltak som får positiv netto nåverdi. Kalkulasjonsrenten kan sies å være den samfunnsøkonomiske alternativkostnaden ved å binde kapital til et tiltak og skal være et uttrykk for kapitalens avkastning i beste alternative anvendelse. I tråd med anbefalingene til Finansdepartementet, er det anvendt en kalkulasjonsrente på 4 % i handlingsplanen.
Klimaeffekt	Med klimaeffekt menes her global oppvarming eller avkjøling av atmosfæren. Den globale klimaeffekten beregnes ved å multiplisere et utslipp med en vektfaktor. Enheten blir for eksempel kilotonn. Andre klimaeffekter (for eksempel endringer i risiko for ekstremvær) er ikke vurdert.
Klimapådriv (Radiative forcing, RF)	Klimapådriv er et mål på klimaeffekt, og angir i denne rapporten hvor mye energibalansen (innkommende solstråling minus utgående stråling fra jorda målt på toppen av atmosfæren) har endret seg fra en situasjon uten norske menneskeskapte utslipp og dagens utslippssituasjon i Norge. RF brukes til å sammenligne klimaeffekt av ulike komponenter. RF er generelt en god indikator på global gjennomsnittlig temperaturrespons. Oppvarmende stoffer gir et positivt klimapådriv mens avkjølede komponenter gir et negativt klimapådriv. Enheten er W/m^2 . Klimapådrivet inngår i beregning av GWP.
Kortlevde klimadrivere (Short-lived climate forcers, SLCF)	Komponenter som har en oppvarmende effekt på klimaet og en kort levetid (<15 år) i atmosfæren. Metan, svart karbon, troposfærisk ozon og HFK-er er inkludert i handlingsplanen for SLCF. Av praktiske grunner er alle HFK-er som slippes ut i Norge (også de med lang levetid) inkludert i handlingsplanen.
Kostnadseffektivitet	Kostnadseffektivitet (NOK/utslippsreduksjon) er et mål på kostnad per tonn utslippsreduksjon av den valgte utslippskomponenten. I dette prosjektet er kostnadseffektiviteten beregnet som gjennomsnittlig årlig kostnad i levetiden opptil 2030 delt på gjennomsnittlig årlig klimaeffekt (summen av alle utslippsreduksjoner målt i $CO_{2e}(GTP10, Norge)$ i levetiden opptil 2030,
Miljøeffekt	Miljøeffekt er definert som påvirkning på avling og skog

Begrep	Beskrivelse
	forårsaket av gitte konsentrasjoner av én eller flere forurensningskomponenter.
Organisk materiale (organic matter, OM)	Organisk materiale (OM) er en vid term som beskriver karbonholdige stoffer som inneholder hydrogen og vanligvis også oksygen.
Organisk karbon (Organic carbon, OC)	OC er den karbonholdige delen av OM, og ekskluderer derfor hydrogen- og oksygeninnholdet. Forholdet mellom OC og OM avhenger av mengden oksygen som er inneholdt i de organiske molekylene. OM:OC varierer fra ca. 1.1 til 2.2 (Russel, 2003), avhengig av utslippskilde, med lavere verdier fra kull og diesel, og høyere verdier fra forbrenning av biomasse. En standardverdi for OM:OC på 1.3 eller 1.4 antas ofte i globale modelleringsstudier (Dentener F. m. fl., 2006; Penner m. fl., 1998).
Referansebane	Framskrivning av relevante utslipp til luft som inkluderer utslippsreducerende effekt av vedtatte virkemidler og tiltak som følger av vedtatt miljøpolitikk. Utslippsreduksjoner som følge av tiltak og virkemidler identifisert i forslaget til handlingsplan kommer i tillegg til reduksjoner som er lagt inn i referansebanen.
Styringseffektivitet	En kvalitativ vurdering av hvor realistisk det antas å være at estimerte utslippsreduksjoner faktisk oppnås gjennom foreslått virkemiddel eller kombinasjon av virkemidler.
Svart karbon (Black carbon (BC), sot):	Svart karbon (BC) er den lysabsorberende andelen av fine partikler (PM_{2,5}) og dannes hovedsakelig ved ufullstendig forbrenning av fossile brensler, biobrensler og biomasse. BC dannes også ved slitasje på vei- og dekk. Det er ulike måter å benevne karboninnholdet i partikler på. Hvilken betegnelse som benyttes avhenger av målemetoden som er benyttet, og er til dels også relatert til sammenhengen omtalen av karbonet inngår i. Ved bruk av optiske metoder, gjengis måleresultatet som BC. Ved bruk av termisk-optiske metoder, gjengis resultatet som elementært karbon (EC). Foreløpig finnes det ikke en vedtatt internasjonal eller nasjonal målestANDARD verken for BC. På klimafeltet er det karbonets lysabsorberende egenskaper som er essensiell. Det er derfor vanlig å omtale karbonet som BC i klimasammenheng. BC har en veldig sterk oppvarmende effekt, ved at det absorberer sollys (kortbølget) i atmosfæren (direkte effekt) i motsetning til klimagasser (GHG) som absorberer langbølget stråling fra jorda. BC kan i tillegg føre til avsmelting og ytterligere oppvarming når det legger seg på snø og is (albedoeffekt). Utslipp av BC påvirker også skydannelse og skyers egenskaper. I praksis benyttes EC-målinger ofte som estimat for BC for eksempel ved utvikling av utslippsregnskaper. Begrepene BC og EC brukes om hverandre både på norsk og internasjonalt.

Begrep	Beskrivelse
	Begrepet "sot" benyttes også ofte for å beskrive svart karbon, men sot inneholder en rekke komponenter utover BC.
Tiltak	Med tiltak mener vi de handlingene som aktuelle aktører (slik som bedrifter, husholdninger, ulike typer statlige og kommunale virksomheter) gjennomfører for å redusere utslippene av klimagasser. Dette kan være investeringer i nye teknologiske løsninger som reduserer utslipp fra produksjon og konsum, endringer i energivaresammensetningen til mindre karbonintensive bærere, økt energieffektivisering samt nedskalering av aktivitet med høy utslippsintensitet i industri, næringsliv og husholdningene.
Tiltakskostnad	De samfunnsøkonomiske kostnadene ved gjennomføring av et tiltak. Inkluderer i størst mulig grad: • forventede investeringskostnader, drifts- og vedlikeholdskostnader • kostnader forbundet med tapt og/eller utsatt produksjon • eksterne virkninger (fordeler og ulemper som ikke fanges opp av prisene i markedet, for eksempel helseeffekter av partikkelutslipp) endret konsumentoverskudd, eksempelvis verdsetting av den ulempen forbrukerne opplever ved en tvungen overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt.
Troposfærisk ozon (O₃)	Ozon opp til om lag 10 km i atmosfæren. Troposfærisk ozon er en gass som, i motsetning til stratosfærisk ozon, er skadelig for klima, helse og miljø. Det stratosfæriske ozonet utgjør ozonlaget som beskytter alt liv mot skadelig ultrafiolett stråling fra sola. Handlingsplanen omfatter kun troposfærisk ozon.
Utslippsreduksjon	Er den utslippsreduserende effekt av utredede virkemiddel og tiltak som kommer til fradrag fra referansebanen.
Vektfaktor	På engelsk metric. Faktor som angir hvor kraftig en komponent påvirker klima i forhold til CO ₂ som har vektfaktor 1. Vektfaktoren angir klimaeffekt per utslippsenhet, og benyttes for å konvertere alle utslipp til samme enhet slik at klimaeffekten av ulike utslipp kan sammenlignes. En vektfaktor er bygd opp av følgende tre elementer: 1) Beregningsmetodikk (eksempelvis GWP eller GTP), 2) Tidsperioden klimaeffekten beregnes over og 3) Regionalitet (det vil si hvor utslippet skjer).

Begrep	Beskrivelse
Verdsettingsfaktor	En verdi i kroner for en endring i nytte- eller kostnadseffekter som ikke omsettes i et marked (eksterne virkninger) For eksempel verdien av tapt tid eller redusert partikkelutslipp.
Virkemiddel	Med virkemidler mener vi de styringsverktøyene som myndighetene kan benytte for å iverksette tiltak som gir utslippsreduksjoner, for eksempel forskriftsendringer eller innføring av avgifter/subsidier.

Vedlegg 2: Akronymer og forkortelser

Forkortelse	Forklaring
ACAP	Arctic Contaminants Action Program
AMAP	Arctic Monitoring and Assessment Programme
AOD	Optisk tykkelse
BC	Svart karbon
CCAC	Climate and Clean Air Coalition, det globale partnerskapet for klima og ren luft
CH ₄	Metan
CO	Karbonmonoksid
CO ₂	Karbondioksid
CO _{2e}	Karbondioksidekvivalenter
EC	Elementært karbon
EMEP	Europeisk overvåkings- og evalueringsprogram (European Monitoring and Evaluation Programme)
EPA	U.S Environmental protection agency
FHI	Folkehelseinstituttet
FPSO	Floating Production Storage and Offloading
FSO	Floating Storage and Offloading
GAINS	Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies
GWP	Globalt oppvarmingspotensiale (Global warming potential)
HFK-er	Hydrofluorkarboner
IMO	International Maritime Organization, FNs Sjøfartsorganisasjon
Klif	Klima- og forurensningsdirektoratet
LRTAP	Long-range Transboundary Air Pollution
N ₂ O	Lystgass
NILU	Norsk institutt for Luftforskning

Forkortelse	Forklaring
nmVOC	Flyktige organiske forbindelser med unntak av metan
NO _x	Nitrogenoksider
O ₃	Ozon
OC	Organisk karbon
PFK-er	Perfluorkarboner
PM ₁₀	Partikulært materiale med diameter mindre en 10 µm
PM _{2,5}	Partikulært materiale med diameter mindre enn 2,5 µm (fine partikler)
SF ₆	Svovelheksafluorid
SFT	Statens forurensningstilsyn
SINTEF	Stiftelsen for industriell og teknisk forskning
SLCF	Kortlevde klimadrivere (Short-lived Climate Forcers)
SLF	Statens Landbruksforvaltning
SSB	Statistisk sentralbyrå
TC	Totalt karbon
UNEP	United Nations Environment Programme , FNs miljøprogram
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Changes (Klimakonvensjonen)
VOC	Flyktige forbindelser, inkl. metan

Vedlegg 3: Internasjonalt samarbeid og forpliktelser

Regionalt samarbeid

Nordisk samarbeid: De nordiske miljøvernministrene har i en felles uttalelse fra Svalbard i mars 2012 uttalt at de ønsker i fellesskap å styrke innsatsen for å redusere utslipp av kortlevde klimadrivere nasjonalt, regionalt og globalt. Dette kan skje i ulike internasjonale fora. De nordiske landene vil videreutvikle og forsterke nasjonale utslippsregnskap for kortlevde klimadrivere og utarbeide nasjonale handlingsplaner for utslippsreduksjoner.

Arktisk samarbeid: Arktisk Råd har i sin "Kiruna declaration" 15. mai 2013 understreket viktigheten av å redusere utslippene av kortlevde klimadrivere. De anbefaler at det prioriteres å utvikle utslippsregnskap for svart karbon for Arktis. Videre oppfordrer Arktisk Råd partene under Montrealprotokollen å handle så raskt som mulig for å fase ned produksjon og bruk av HFK, som et supplement til handlinger under UNFCCC. De besluttet også å etablere en ny Task Force som skal samarbeide for å utrede hvordan man kan arbeide for å redusere utslippene av svart karbon og metan i Arktis. Denne gruppen skal rapportere tilbake til Arktisk Råd i 2015.

Miljødirektoratet leder sammen med Finland et prosjekt under Arktisk råd (ACAP Wood) som blant annet undersøker hvordan de enkelte land beregner utslipp fra vedfyring.

En Task Force for kortlevde klimadrivere som ble opprettet i 2009 og avsluttet sitt arbeid våren 2013, utarbeidet ni anbefalinger for hva de arktiske landene enkeltvis, og samlet i Arktisk Råd, kan gjøre for å redusere utslippene av svart karbon og metan. Også miljøvernministrene fra de Arktiske landene understreket i sitt møte i Jukkasjarvi, Sverige februar 2013, behovet for å redusere utslippene av de kortlevde klimadrivene, og at de arktiske landene bør fortsette å være en spydspiss for en økt global innsats for å redusere disse utslippene.

Også innen AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) er det egne arbeidsgrupper som fokuserer på det vitenskapelige grunnlaget for å øke kunnskapen om virkningene av kortlevde klimadrivere. Dette arbeidet er også utvidet til å omfatte naturlige kilder av metan i arktiske områder, og må ses i sammenheng med aktiviteter knyttet til permafrost.

Langtransportkonvensjonen og Gøteborgprotokollen: Konvensjonen om langtransportert forurensning ble etablert i 1979. Gøteborgprotokollen er en av protokollene under konvensjonen, og omhandler ulike gasser som fører til forsuring, overgjødning og dannelse av troposfærisk ozon. Gøteborgprotokollen ble vedtatt i 1999 og trådte i kraft i 2005. Partene til protokollen forplikter seg til å begrense utslipp av gassene NO_x, SO₂, nmVOC og NH₃ fra 2010. Disse utslippstakene for 2010 skal ikke overskrides i årene fram mot 2020.

Nye utslippsforpliktelser for 2020 ble vedtatt i revidert Gøteborgprotokoll i mai 2012. Denne setter også begrensninger på utslipp av partikler (PM_{2,5}). Det er ingen særskilt begrensning på utslipp av svart karbon (BC), men i protokollen er landene oppfordret til å utarbeide utslippsregnskap og framskrivninger for utslipp av svart karbon og rapportere dette frivillig til konvensjonen. Utslippsforpliktelsene gjelder fra år 2020, og er gitt per gass i prosentvis reduksjon i forhold til landets utslipp i år 2005.

Norges forpliktelse vedrørende utslippsbegrensning er gitt i tabellen nedenfor.

Tabell V3.1: Norges forpliktelser i Gøteborgprotokollen (reduksjon relativt til utslipp i 2005)

Komponent	Utslipp i 2005 (tonn)	Prosentvis reduksjon	Utslippstak i 2020 (tonn)
NO _x	204 000	-23 %	157 000
nmVOC	221 000	-40 %	133 000
SO ₂	24 000	-10 %	22 000
NH ₃	27 000	-8 %	25 000
PM _{2,5}	52 000	-30 %	36 000

EUs regulering på områder relevant for kortlevde klimadrivere: EU har en omfattende regulering på bruk av HFK i produkter. En revidert regulering for nedfasing av bruk av HFK fram mot 2030 er per medio 2013 til behandling i Rådet og Parlamentet. Innen avfallssektoren er det også reguleringer som reduserer metanutslipp.

EUs ozondirektiv stiller krav om at myndighetene informerer befolkningen når konsentrasjonene av bakkenær ozon overstiger en viss konsentrasjon.

EU har innlemmet forpliktelsene i Gøteborgprotokollen i sitt miljøregelverk. Det ble i 2009 bestemt å innlemme EUs direktiv "takdirektivet", om nasjonale utslippstak for forurensning til luft i EØS-avtalen. Norge har i EØS-avtalen tatt på seg å holde de samme utslippstakene som vi har forpliktet oss til i Gøteborgprotokollen av 1999. EUs takdirektiv er pr medio 2013 under revisjon for å reflektere den reviderte Gøteborgprotokollen av 2012.

Også EU-regelverk som er rettet mot å redusere lokal luftforurensning vil gi effekt på forløperne til dannning av ozon, og dermed legger føringer virkemidler for å redusere utslippene. EUs rammedirektiv for luftkvalitet fra 2004, sammen med datterdirektiv som har kommet senere, er de viktigste for å redusere lokal luftforurensning. I tillegg er det betydelig EU-regulering av utslipp fra ulike kjøretøy og for ikke-veigående kjøretøy og motorer.

Landbrukspolitikken er ikke omfattet av EØS-avtalen, slik at EUs regelverk i svært begrenset grad legger føringer på utslipp av metan fra landbrukssektoren.

Globalt samarbeid

Koalisjon for klima og ren luft: I februar 2012 ble det stiftet et internasjonalt partnerskap for å redusere utslipp av kortlevde klimadrivere, det globale partnerskapet for klima og ren luft (Climate and Clean Air Coalition, CCAC). Norge, sammen med 32 andre stater, EU og en rekke organisasjoner er per 3. desember 2013 med i koalisjonen. Koalisjonen har satt fokus på ulike områder hvor det er globalt potensial for å redusere utslippene av kortlevde klimadrivere herunder olje- og gassproduksjon, bruk av HFK i produkter, dieselskjøretøy, mursteinsproduksjon, avfall, kokeovner og boligoppvarming.

FNs klimakonvensjon og Kyotoprotokollen: FNs rammekonvensjon om klimaendring av 9. mai 1992 (UNFCCC) er det sentrale rammeverket for internasjonalt samarbeid for å motarbeide klimaendringer og sikre tilpasning til et klima i endring. Målet for den globale innsatsen gjennom FNs klimakonvensjon er å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren på et nivå som er lavt nok til å hindre farlig menneskeskapt påvirkning av jordens klima. Målet er satt til to grader Celsius.

Kyotoprotokollen av 11. desember 1997, er den første juridisk bindende internasjonale klimaavtalen som setter tallfestede utslippsforpliktelser for de landene som den gang ble klassifisert som industriland. Kyotoprotokollens andre forpliktelsesperiode skal vare i åtte år, fra 2013 til 2020. For Norge innebærer vedtaket om en ny forpliktelsesperiode en ny utslippsforpliktelse som er konsistent med målsettingen om en utslippsreduksjon på 30 prosent i 2020 sammenlignet med 1990-utslippene. Norge skal ta ansvar for å redusere utslipp for perioden 2013-2020 til 84 prosent i forhold til 1990-utslippene som et årlig gjennomsnitt. Det vil si at Norge etter Kyotoprotokollen vil være forpliktet til å sørge for at de totale klimagassutslippene i perioden 2013-2020 i gjennomsnitt er 16 prosent lavere enn Norges utslipp i 1990.

Utslippsforpliktelsene under protokollen for den første forpliktelsesperioden omfatter de seks viktigste klimagassene CO₂, CH₄, N₂O, HFK, PFK og SF₆. I andre forpliktelsesperiode er også nitrogentrifluorid (NF₃) inkludert. Gassene under Kyotoprotokollen sees under ett og omregnes til CO₂-ekvivalenter ved bruk av IPCCs verdier for globalt oppvarmingspotensial over 100 år uavhengig av hvor utslippet finner sted (GWP100, global).

Partene under klimakonvensjonen har blitt enige om å framforhandle en ny klimaavtale under FNs klimakonvensjon. Avtalen skal gjelde for alle land, være ferdigforhandlet i 2015 og gjelde fra 2020.

Montrealprotokollen: Montrealprotokollen har et utfasingsregime for de ozonødeleggende gassene i stratosfæren. Det er fremmet forslag om å inkludere nedfasing av HFK-gassene i protokollen.

Forhandlingene om å inkludere dette har hittil hatt lite fremdrift, selv om over hundre land har signert en såkalt "Bali Declaration" som ber partene under Montrealprotokollen beslutte en nedfasing av produksjon og bruk av HFK.

Annet arbeid innenfor FN av betydning for kortlevde klimadrivere: FN klimapanels fjerde hovedrapport, som kom ut i 2007 omtaler de kortlevde klimadriverne i begrenset grad. Temaet er ventet å få mer oppmerksomhet i den femte hovedrapporten som vil bli publisert i 2013/2014.

Den internasjonale maritime organisasjonen (IMO) utarbeider og fastsetter standarder bl.a. for miljøkrav til skip, samt marine drivstoff. Det er krav til maksimale utslipp av NO_x og maksimalt innhold av svovel i drivstoff. Det er også utarbeidet en indeks for energieffektivitetsdesign av nye skip og krav om energieffektiviseringsplan. Krav til energieffektivisering er ventet å redusere drivstofforbruk, og dermed også utslipp fra forbrenning av drivstoff. Alle medlemsland i IMO, inkludert Norge er forpliktet til å følge opp standardene som fastsettes.

Global Methane Initiative: Global Methane Initiative er et frivillig, multilateralt samarbeid med formål å redusere utslipp av metan, samt fremme kunnskap om hvordan metan kan samles opp og utnyttes som en verdifull ressurs. Om lag 40 land er partnere til initiativet, og Norge ble partner i 2011.

Global Alliance for Clean Cookstoves: Global Alliance for Clean Cookstoves er et initiativ for å redde liv, bedre leveforhold, bemyndige kvinner og beskytte miljøet ved å bidra til et velfungerende globalt marked for miljøvennlig og effektive løsninger for matlaging. Målet er å tilrettelegge for finansiering av 100 millioner rentbrennende ovner for matlaging innen 2020.

Vedlegg 4: Norske utslipp av andre kortlevde klimadrivere enn BC og OC, samt SO₂

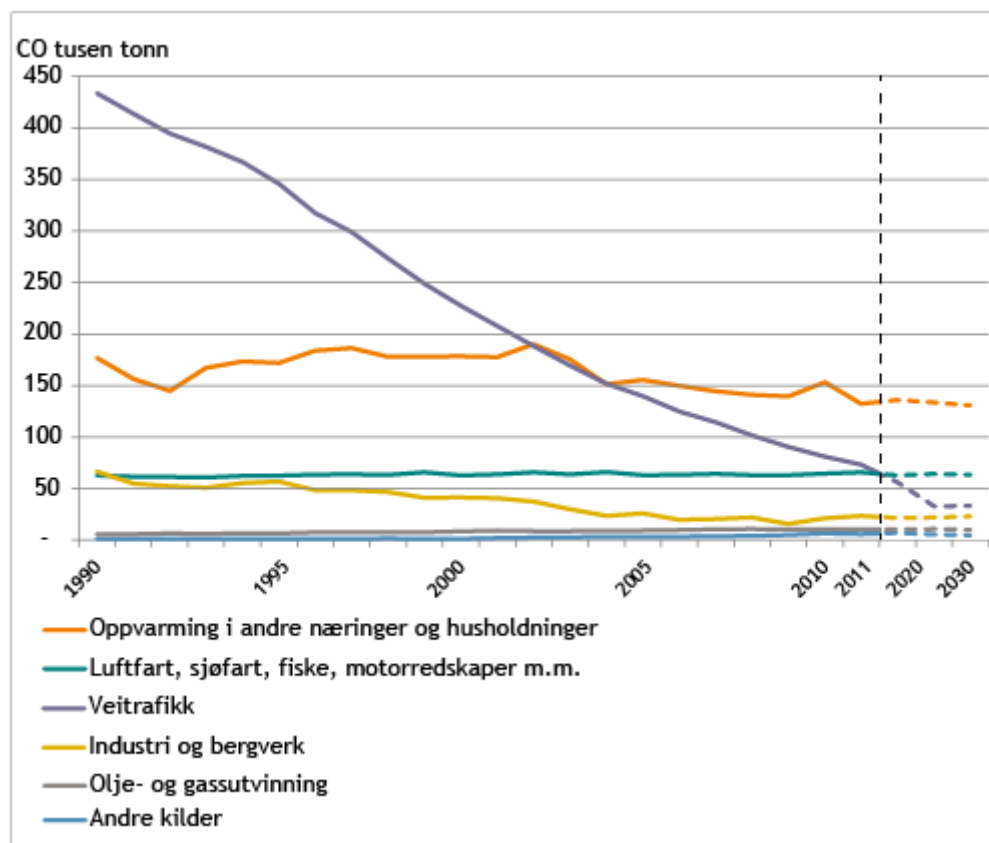
Ozon og ozonforløpere

Ozon slippes ikke ut, men dannes i atmosfæren. I dette kapitlet beskriver vi utslipp av de CO, nmVOC og NO_x som alle bidrar til dannelse av ozon. Komponentene kalles gjerne ozonforløpere. Utslipp av metan, som bidrar til ozondannelse i tillegg til å være en kortlevd klimadriver, er også beskrevet.

Karbonmonoksid (CO)

Utslipp av karbonmonoksid til luft skyldes hovedsakelig ufullstendig forbrenning av organisk materiale. De fleste forbrenningsprosesser vil derfor bidra til CO-nivået i uteluft.

I 2011 var utslippet på 311 000 tonn. Den største kilden, som står for nærmere 50 % av utslippene, er utslipp fra oppvarming i husholdningene. Videre er utslipp fra personbiler og fra ulike motorredskaper betydelige kilder, som bidrar til om lag en tredjedel av utslippene.



Figur V4.1: Utslipp av CO i perioden 1990-2011 (kilotonn/år) og framskrivninger (2012-2030) fra Klif/SSB (2013) og FIN (2013)

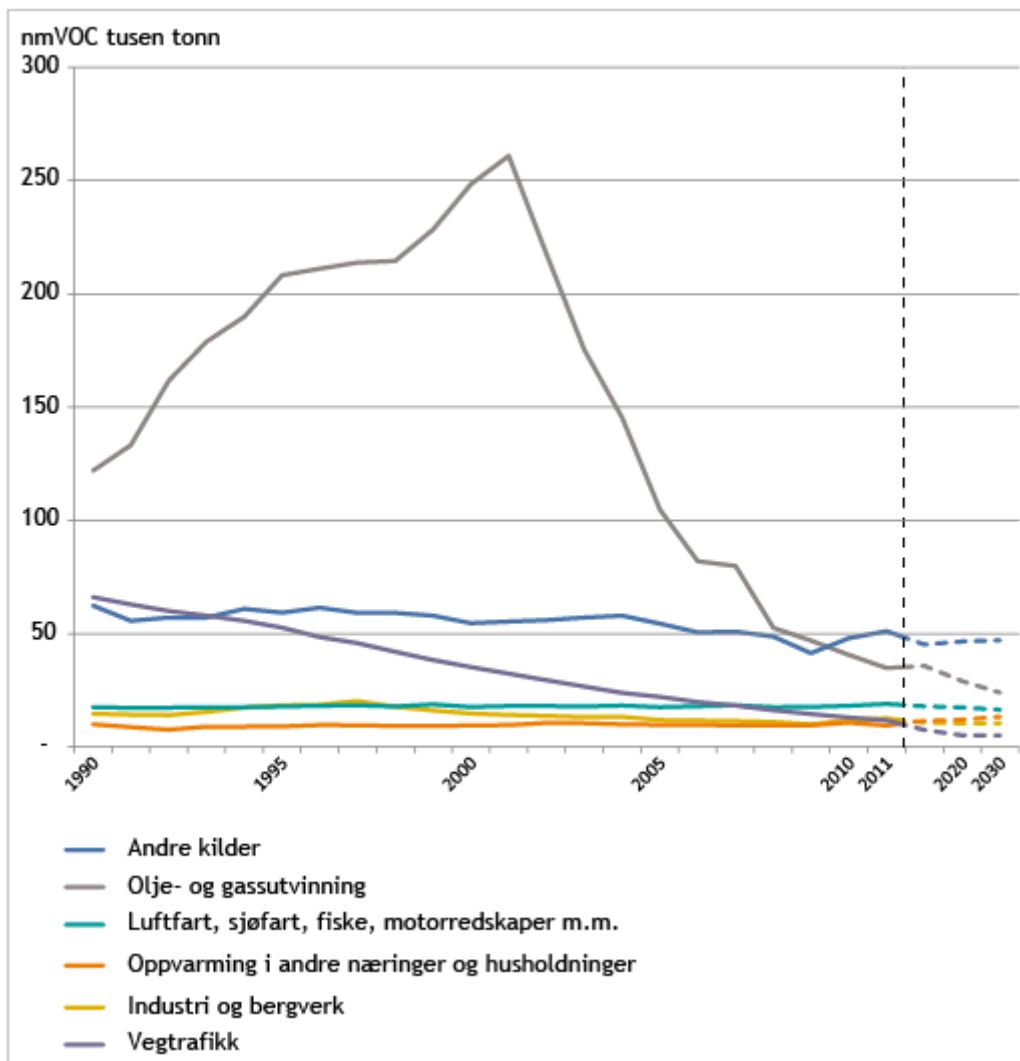
Figur V4.1 viser at utslippene har gått mye ned fra 1990. Totalt har utslippene blitt mer enn halvert fra 747 000 tonn i 1990 til 311 000 tonn i 2011. Det er særlig utslippene fra veitrafikken som har blitt redusert i perioden med over 300 000 tonn som et resultat av krav til utslippsbegrensninger gjennom kjøretøysforskriften. Utslipp fra veitrafikken forutsettes å gå ytterligere ned framover pga. dette. Videre har prosessutslippene fra metall- og kjemisk industri gått betydelig ned pga. redusert produksjon av silisiumkarbid og nedlegging av magnesiumproduksjon. Utover en fortsatt reduksjon i utslippene fra veitrafikken, er det ventet lite endring i utslippene fra de andre sektorene fram mot 2030.

Flyktige organiske forbindelser med unntak av metan (nmVOC)

Utslippene av nmVOC var på 139 000 tonn i 2011. Bruk av løsemidler er den største kilden til utslipp av nmVOC i Norge og bidro i 2011 med 33 prosent av utslippene. Andre viktige utslippskilder omfatter behandling av råolje og bensindistribusjon. Utslipp fra bruk av løsemidler og bensindistribusjon inngår i sektoren "Andre kilder" i utslippsregnskapet (Figur V4.2).

Andre store kilder er transport (inkludert småbåter og motorredskaper) I 2011 bidro transport med ca. 22 prosent og olje- og gassektoren med 25 prosent av utslippene. Resten av utslippene kom fra andre kilder som industri, husholdninger og bensindistribusjon.

På grunn av økt aktivitet i oljeproduksjonen økte de norske utslippene av nmVOC med ca. 34 prosent fra 1990 til 2001. I 2001 var utslippet 390 000 tonn. Deretter har utslippene gått sterkt ned og forventes å gå ytterligere noe ned. Pålegg om forbedringer ved lasting av råolje, i form av gjenvinning av oljedamp, er den viktigste årsaken til reduksjonen. Det har også vært en nedgang i utslippene fra veitransporten på ca. 80 prosent som skyldes strengere avgasskrav til bensindrevne personbiler. Denne utviklingen forventes å fortsette fram mot 2020. De andre kildene har variert mindre i perioden 1990-2011. Dette er vist i Figur V4.2.



Figur V4.2: Utslipp av nmVOC i perioden 1990-2011 (kilotonn/år) og framskrivninger (2012-2030) fra Klif/SSB (2013) og FIN (2013)

Det er ventet relativt lite endring i de totale utslippene fram mot 2030, men de vil kunne gå noe ned. Dette er pga. fortsatt reduserte utslipp fra bøyelasting offshore, og noe reduksjon i utslippene fra veitrafikken.

Gøteborgprotokollen ble revidert i 2012. Norge har forpliktet seg til å redusere utslippene av nmVOC med 40 prosent sammenlignet med utslippene i 2005, hvilket tilsvarer et utslipp på omtrent 130 000 tonn i 2020.

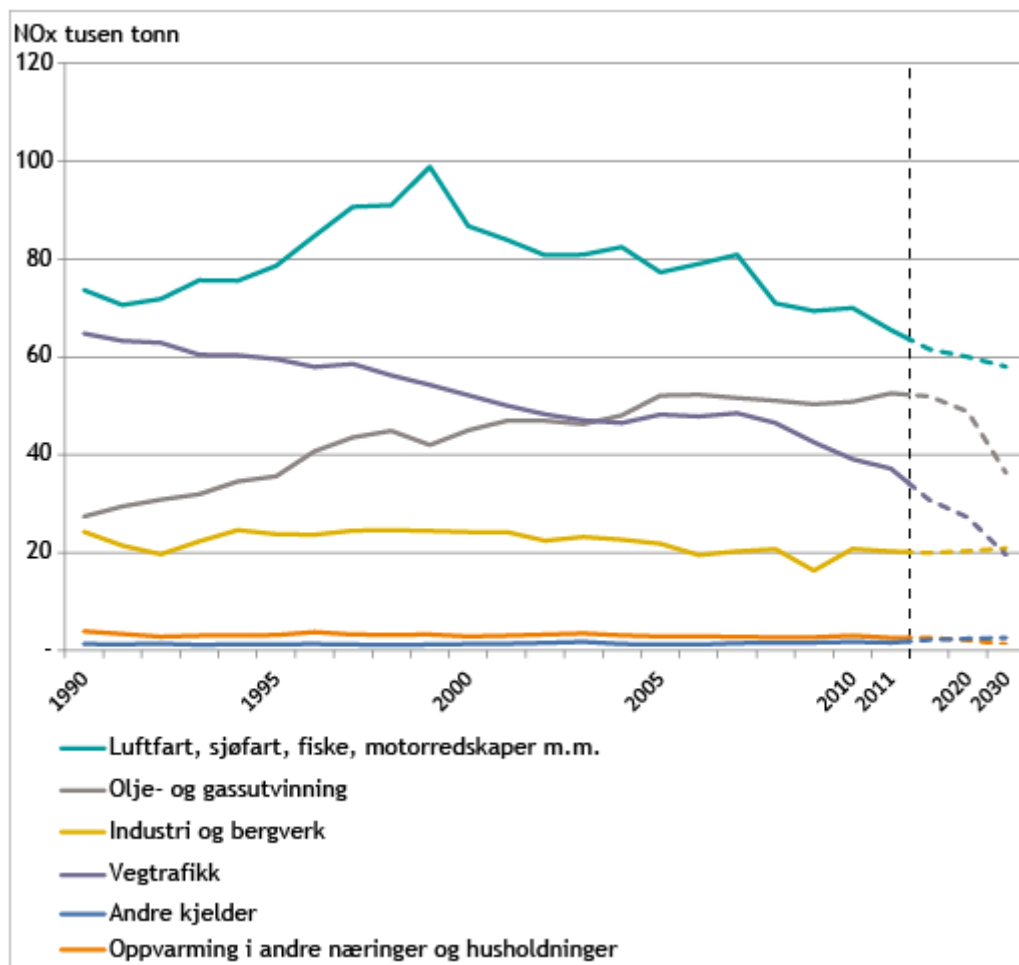
Nitrogenoksider (NO_x)

I Norge er de største kildene til utslipp av NO_x forbrenning av fossilt brensel i mobile kilder på land og til havs, fra olje- og gassutvinning og fra industrien (Figur V4.3).

Det totale norske NO_x-utslippet var ca. 180 000 tonn i 2011. Veitrafikken sto for 21 prosent av utslippene, mens utslippene fra annen transport og bruk av motorredskaper sto for 36 prosent. Av

disse var kysttrafikk og fiske de største utslippskildene. Olje- og gassvirksomheten bidro med 29 prosent av utslippene, mens industrien sto for 11 prosent.

De norske NO_x-utslippene økte sterkt fram til 1986. Innføring av strengere krav til avgasser fra veitrafikken og nedgang i økonomisk aktivitet førte til en reduksjon i utslippene fra 1986 til 1992. Etter dette var det en viss økning fram til 1999 grunnet økning i utslipp fra olje- og gassutvinning og fra annen transport, samt bruk av motorredskaper. Denne økningen skyldes økt aktivitetsnivå. Deretter har utslippstrenden vært nedadgående, primært på grunn av enda strengere krav til avgasser fra veitrafikken. En forpliktende avtale om utslippsreduksjoner som er inngått mellom Miljøverndepartementet og en rekke næringslivsorganisasjoner har også bidratt til reduksjonene, spesielt innen kysttrafikken.



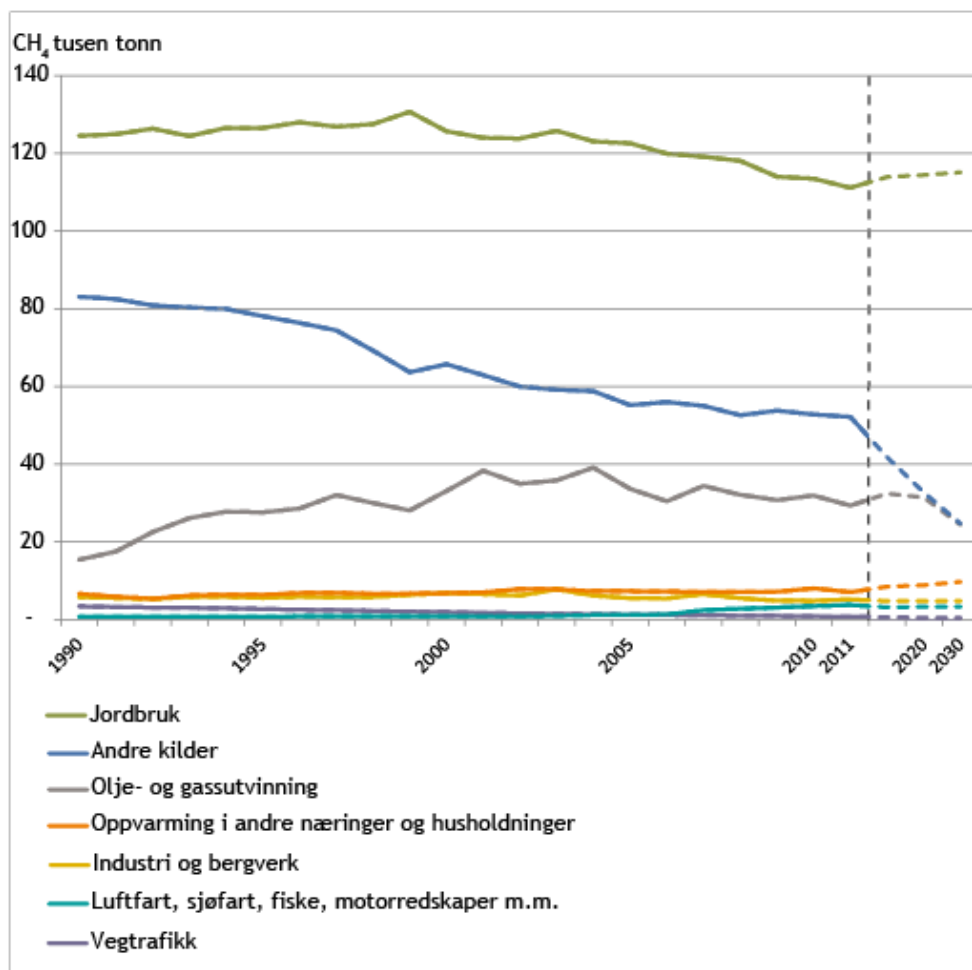
Figur V4.3: Utslipp av NO_x i perioden 1990-2011 (kilotonn/år) og framskrivninger (2012-2030) fra Klif/SSB (2013) og FIN (2013)

Det er forventet at de totale utslippene av NO_x i årene framover mot 2030 vil gå noe ned, blant annet som følge av allerede vedtatte strengere avgasskrav til kjøretøy, og avtalen om utslippsreduksjoner som er inngått mellom Miljøverndepartementet og en rekke næringslivsorganisasjoner. Også utslippene fra olje- og gassutvinning er forventet å gå noe ned pga. redusert aktivitetsnivå.

Norge har i den reviderte Gøteborgprotokollen forpliktet seg til å redusere utslippene av NO_x med 23 prosent sammenlignet med utslippene i 2005, hvilket vil si at utslippene ikke skal overstige 157 000 tonn i 2020.

Metan

Menneskeskapte utslipp av metan i Norge kommer hovedsakelig fra husdyrhold, fra dannelsen i avfallsfyllinger og fra olje- og gassutvinning. I 2011 var utslippene av metan 209 000 tonn, hvorav 54 % (111 000 tonn) kom fra jordbruk. Mesteparten (86 %) av jordbruksutslippene kommer fra dyrenes fordøyelse, spesielt fra drøvtyggere og en langt mindre del fra husdyrgjødsel. Den nest største kilden er utslipp fra nedbryting av organisk avfall i avfallsdeponier (51 000 tonn), som er den dominerende utslippskilden i "Andre kilder" i figur V4.4. Metan finnes også i fossile brennstoff, slik at det er utslipp knyttet til utvinning, distribusjon og forbrenning av fossile brensler, spesielt fra olje- og gassvirksomhet.



Figur V4.4: Utslipp av metan (CH₄) i perioden 1990-2011(kilotonn/år) og framskrivninger (2012-2030) fra Klif/SSB (2013) og FIN (2013)

Utslippene av metan fra jordbrukssektoren har blitt redusert med ca. 11 prosent i perioden 1990 til 2011. Utslippene har blant annet gått ned pga. redusert antall storfe som følge av strukturendringer

som har skjedd i næringen. Det er ikke innført særskilte virkemidler for å redusere utslippene fra jordbruket.

Størrelsen på utslippene av metan fra avfallsdeponier avhenger av hvor mye avfall som tidligere har blitt deponert og hvor mye metan som tas ut fra deponiene. Mengden avfall som deponeres har gått betydelig ned siden 1990. Samtidig har uttaket av metan fra deponiene økt. Begge deler gir mindre utslipp av metan fra avfallsdeponiene. I 2009 ble det innført deponiforbud. Utslippene fra denne kilden har blitt redusert med ca. 35 % fra 1990 - 2011 som følger av reguleringer fra miljømyndighetene. Det er ventet fortsatt reduksjon i utslippene fra avfallsdeponiene som en følge av nevnte regulering framover.

Metan er hovedbestanddelen i naturgass, og finnes også i de fleste andre fossile energibærere. Utslippene knyttet til utvinning, distribusjon og forbrenning av fossile brensler har økt i perioden, som følge av økt omfang av olje- og gassvirksomhet.

Det er ventet at de totale utslippene av metan vil bli noe redusert fram mot 2030. Det er spesielt innen avfallssektoren at reduksjonen vil skje. For de øvrige sektorene er det ventet bare mindre endringer.

Til publisering av utslippsregnskapet i februar i 2013 ble det gjort metodeendringer for beregningen av CH₄ fra tarmgass fra husdyr. Dette har medført at historiske utslipp har blitt oppjustert med om lag 9 %. Det er ikke beregnet hva disse endringene betyr for framskrivningen, men mest trolig vil metodeendringen bety at også framskrevne utslipp blir litt høyere.

Hydrofluorkarboner (HFK-er)

Det viktigste anvendelsesområdet for HFK-er er bruk som kjølemedium i kjøleanlegg, luftkondisjoneringsanlegg og varmepumper. I tillegg blir det benyttet i isolasjonsskum, brannslukkingsanlegg og en del andre produkter. I Utslippsregnskapet inngår disse i kategorien Produkter med fluorgasser som er en undersektor av *Andre kilder*.

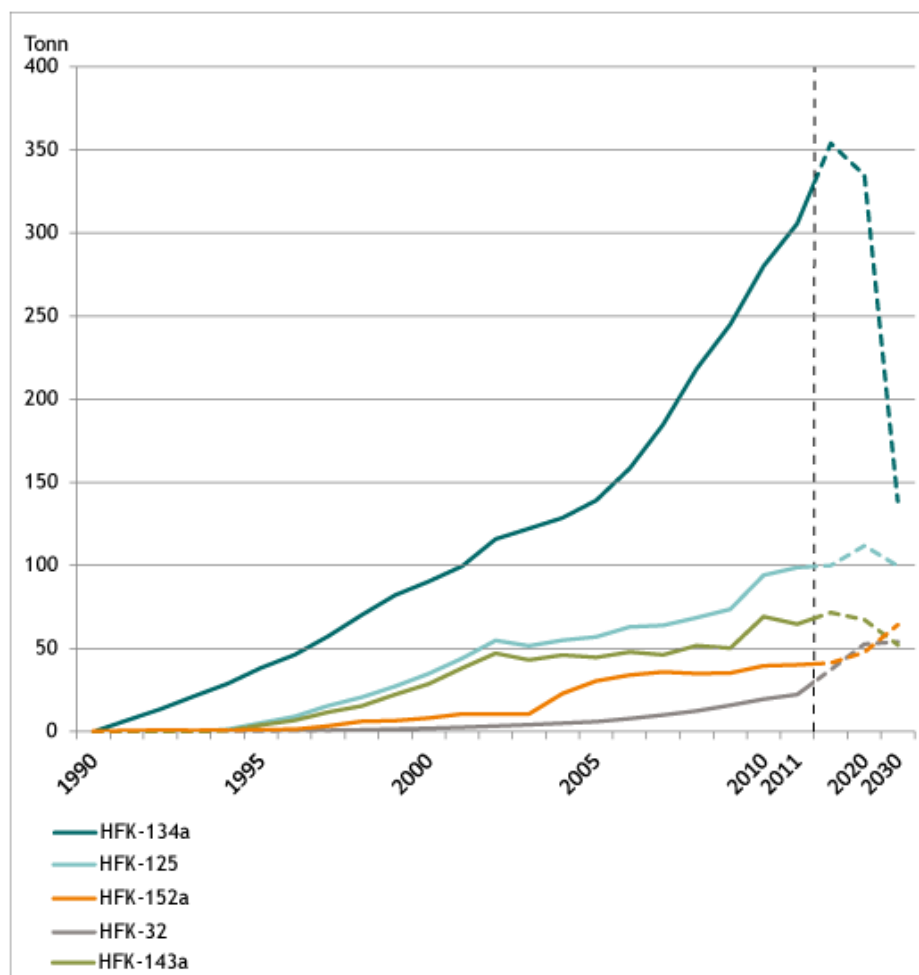
Fem av HFK-ene som anvendes og slippes ut i Norge er kortlevde klimadrivere. Som forklart i kapittel 1.4 omfatter dette arbeidet av praktiske årsaker alle HFK-er som slippes ut i Norge. Oversikt over disse og deres levetid er gitt i Tabell V4.1 under.

Tabell V4.1: Oversikt over levetiden til HFK-er som slippes ut i Norge (IPCC (2007))

Komponenter	Levetid [år]		Klimapådriv (W/m ²)		
	Kortlevde	Langlevde	20 år	100 år	500 år
HFK-152a	1,4		437	124	38
HFK-143	3,5		1,24	353	107
HFK-32	4,9		2330	675	205
HFK-134	9,6		3,4	1,1	335
HFK-134a	14		3830	1430	435
HFK-125		29	6350	3500	1100
HFK-227ea		34,2	5310	3220	1040
HFK-143a		52	5890	4470	1590
HFK-23		270	12000	14800	12200

I 1990 var utslippene av HFK-er svært små målt i tonn. Men fra midten av 1990-årene økte bruken av HFK sterkt som følge av at de ble fasett inn som erstatning for ozonnedbrytende gasser som KFK-er, haloner og HKFK-er.

Utslippsutvikling for de fem mest anvendte HFK-ene er vist i Figur V4.5.



Figur V4.5: Utslipp av HFK-er i perioden 1990-2011 (tonn/år) og framskrivninger (2012-2030) fra Klif/SSB (2013) og FIN (2013)

Veksten i utslipp av HFK gassene antas å ha blitt dempet etter at det ble innført en avgift på produksjon og import av HFK i 2003. Utslippene forventes å nå en topp litt før 2020, for deretter å reduseres betydelig fram mot 2030. Dette skyldes i første rekke utfasingen av HFK134a i luftkondisjonering i kjøretøy som følge av at krav i kjøretøyforskriften begynner å gi utslag i samlede utslipp, samt at naturlige kuldemedier og nyere syntetiske fluorgasser med svært lav vektfaktor, såkalte hydrofluorolefiner (HFOer), begynner å bli teknisk modne og økonomisk attraktive.

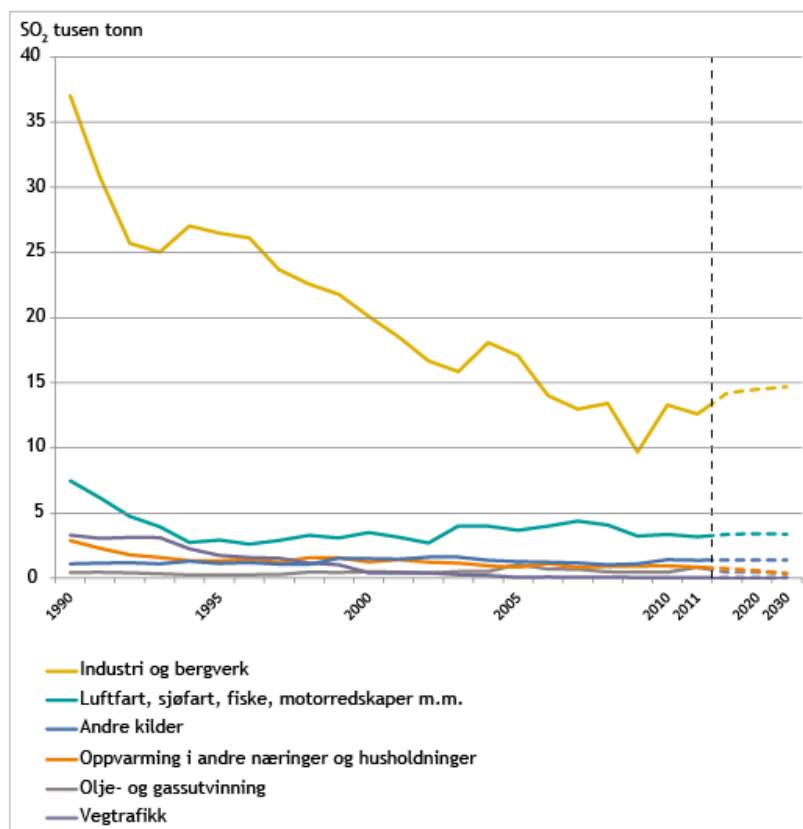
Svoveldioksid (SO₂)

Svoveldioksid (SO₂) dannes ved forbrenning av stoffer som inneholder svovel, i hovedsak olje og kull, samt ved en rekke industriprosesser.

SO₂ er ikke en kortlevd klimadriver, men en avkjølede komponent som slippes ut fra prosesser som også kan slippe ut kortlevde klimadrivere.

I 2011 var de totale utslippene av SO₂ 18 800 tonn. De største kildene til utslipp av svoveldioksid i Norge er industri og bergverk. Disse kildene sto for 65 prosent av utslippene i 2011. Metallindustrien er den klart viktigste utslippskilden innen prosessindustrien. Innenriks sjøfart og fiske bidro med 19 prosent, mens utslipp fra energiforsyning sto for 7 prosent.

Utslippene av svoveldioksid har gått sterkt ned i Norge de siste 20 årene. Nedleggelse av industri, stadig strengere krav til svovelinnhold i ulike oljeprodukter, innføring av svovelavgift og krav hjemlet i forurensningsloven har bidratt vesentlig til reduksjonen.



Figur V4.6: Utslipp av SO₂ for i perioden 1990-2011(kilotonn / år) og framskrivninger (2012-2030) fra Klif/SSB (2013) og FIN (2013)

Norge har i den reviderte Gøteborgprotokollen forpliktet seg til å redusere utslippene av SO₂ med 10 prosent sammenlignet med utslippene i 2005, det vil si at utslippene skal være maksimalt 22 000 tonn i 2020.

Vedlegg 5: Resultater av norsk overvåkning

Statlig overvåking av PM₁₀ og PM_{2,5}

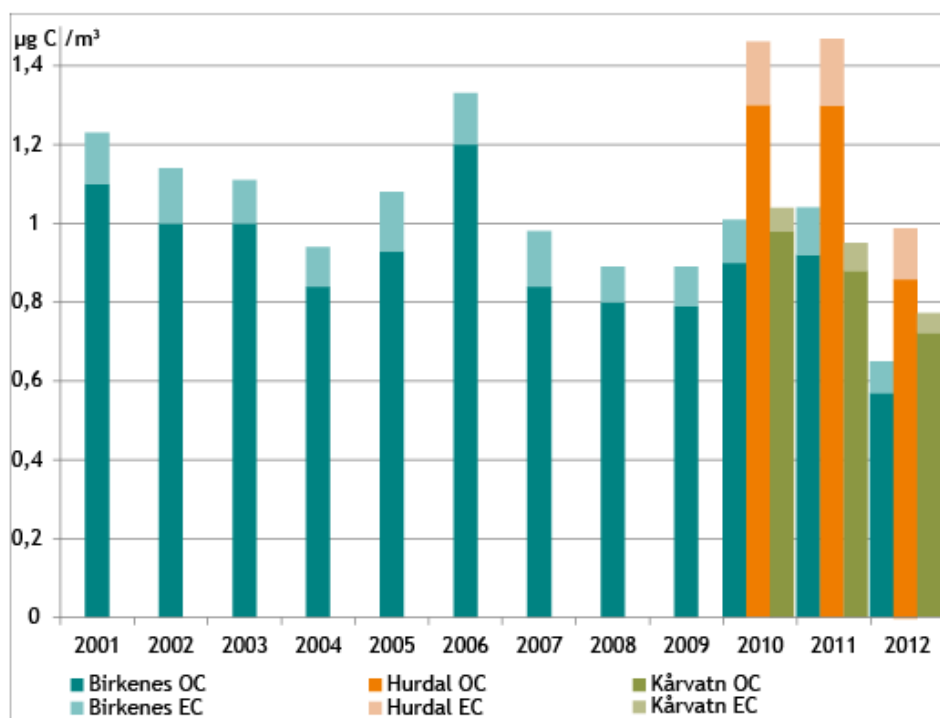
AOD (Aerosol optical depth/ Aerosol optisk tykkelse) er et uttrykk for mengden partikler i en kolonne fra bakken og til toppen av atmosfæren over stasjonen og hvordan dette reduserer strålingen som når ned. AOD har vært målt siden 2002 på Svalbard og siden 2010 også på Birkenes. Verdiene viser store variasjoner over året og mellom årene uten å ha vist en klar trend siden målingene startet (Klif, 2013b).

PM₁₀ og PM_{2,5}, som angir partikkelmassen i de to størrelsesfraksjonene, samt partiklenes innhold av elementært karbon (EC), organisk karbon (OC) og total karbon (TC=EC+OC) har vært overvåket på Birkenes siden 2001 og på Kårvatn og Hurdal siden henholdsvis 2010 og 2011 (Klif, 2012a). Målingene av PM₁₀ og PM_{2,5} av EC og OC for disse målestasjonene er vist i Figur V5.1, Figur V5.2 og i Tabell V5.1.

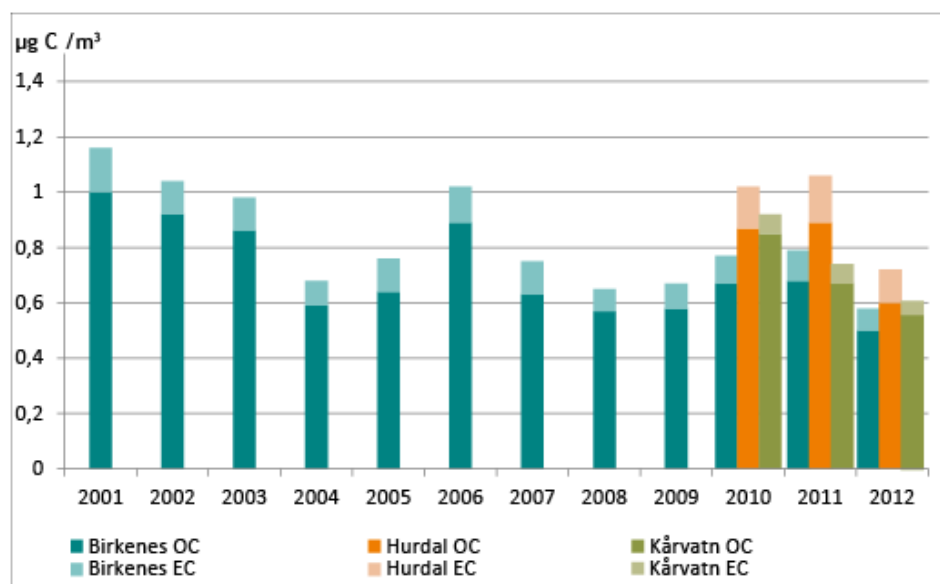
Målingen ved Birkenes siden 2001 har variert fra år til år uten en klar trend. Nivåene domineres av langtransporterte utslipp fra Storbritannia, Sentral-Europa og i varierende grad fra Nord-Amerika, inkl. skogbrannpartikler. Meteorologiske forhold spiller derfor en viktig rolle. Målinger ved Hurdal og Kårvatn ble nylig igangsatt, og det er for tidlig å si noe om resultatene herfra. For tidligere år på Birkenes er det vist at døgnkonsentrasjonen av PM₁₀ kan ligge over grenseverdiene i WHO's Air Quality Guidelines under episoder med langtransportert luftforurensning. Tilsvarende målinger eksisterer ikke for Hurdal og Kårvatn. Fordelingen mellom EC og OC i partiklene er relativt stabil fra år til år. I dag måles det bare med en tidsoppløsning på en uke, slik at eventuelle overskridelser av døgnverdiene ikke lenger registreres.

År	PM ₁₀			PM _{2,5}		
	OC	EC	TC	OC	EC	TC
Birkenes						
2001	1,1	0,13	1,3	1,0	0,16	1,2
2002	1,0	0,14	1,2	0,92	0,12	1,0
2003	1,0	0,11	1,2	0,86	0,12	0,98
2004	0,84	0,10	0,94	0,59	0,09	0,68
2005	0,93	0,15	1,1	0,64	0,12	0,75
2006	1,2	0,13	1,3	0,89	0,13	1,0
2007	0,84	0,14	0,98	0,63	0,12	0,75
2008	0,80	0,09	0,89	0,57	0,08	0,65
2009	0,79	0,10	0,89	0,58	0,09	0,67
2010	0,90	0,11	1,0	0,67	0,10	0,78
2011	0,92	0,12	1,0	0,68	0,11	0,80
2012	0,57	0,08	0,64	0,50	0,08	0,58
Hurdal						
2010	1,3	0,16	1,4	0,87	0,15	1,0
2011	1,3	0,17	1,5	0,89	0,17	1,1
2012	0,86	0,13	0,99	0,60	0,12	0,73
Kårvatn						
2010	0,98	0,06	1,0	0,85	0,07	0,92
2011	0,88	0,07	0,95	0,67	0,07	0,74
2012	0,72	0,05	0,78	0,56	0,05	0,62

Tabell V5.1: Årsmidler for elementær karbon (EC), organisk karbon (OC) og total karbon (TC) fra tre norske målestasjoner som måler PM₁₀ og PM_{2,5}. Kilde: Klif (2012a)



Figur V5.1: Årsmidler for OC og EC i PM10 for perioden 2001-2012. Enhet $\mu\text{g C}/\text{m}^3$

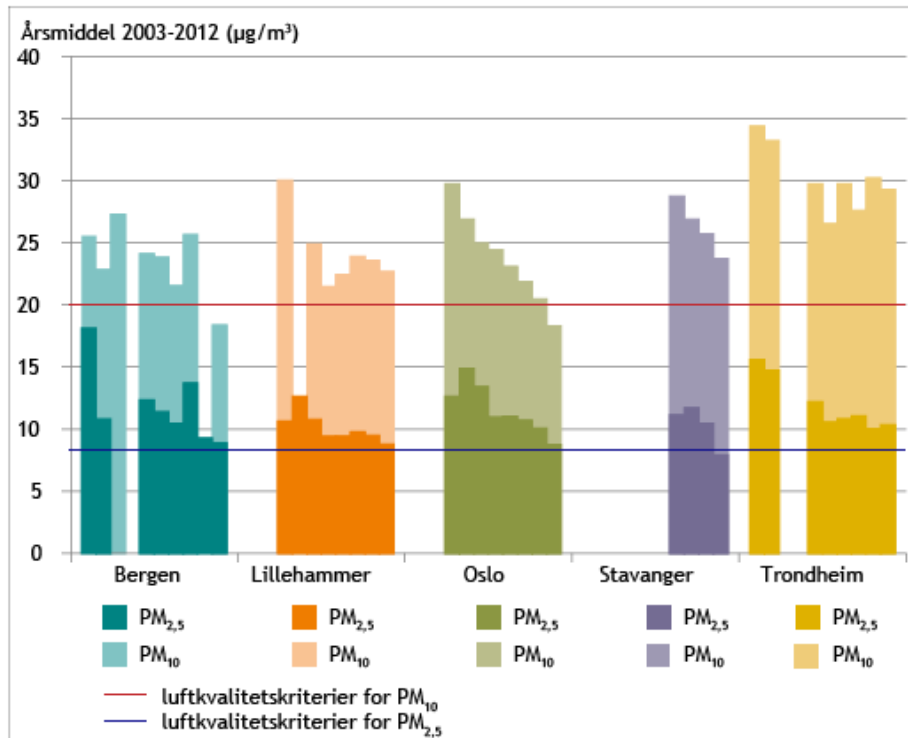


Figur V5.2: Årsmidler for OC og EC i PM2.5 for perioden 2001-2012. Enhet $\mu\text{g C}/\text{m}^3$

Lokal overvåking av PM₁₀ og PM_{2,5}

Det finnes ingen lokal overvåking av svart karbon i Norge i dag. I 13 byer måles imidlertid PM₁₀, og i syv av disse måles også PM_{2,5}. Denne lokale overvåkingen er regulert av forurensningsforskriftens kapittel 7 om lokal luftkvalitet.

Figur V5.3 viser årsmiddelkonsentrasjon av PM₁₀ og PM_{2,5} i utvalgte norske byer for årene 2003-2012.



Figur V5.3: Årsmiddelkonsentrasjonen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av PM₁₀ og PM_{2,5} i utvalgte norske byer for årene 2003-2012. Noe data mangler på grunn av for lav datafangst. Kilde: Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet (2013)

Figur V5.3 viser årsmiddelkonsentrasjon av PM₁₀ og PM_{2,5} i utvalgte norske byer for årene 2003-2012. Konsentrasjonene har blitt redusert de siste ti årene. Ingen av byene er over grenseverdien for årsmiddel for begge komponentene. Konsentrasjonen er høyest i Trondheim. Her har grenseverdien for døgnmiddel PM₁₀ (35 dager over $50\mu\text{g}/\text{m}^3$) blitt brutt i alle år utenom 2008 (vises ikke her). Samtlige byer har høyere verdier enn de anbefalte luftkvalitetskriterier for PM₁₀ (og PM_{2,5}).

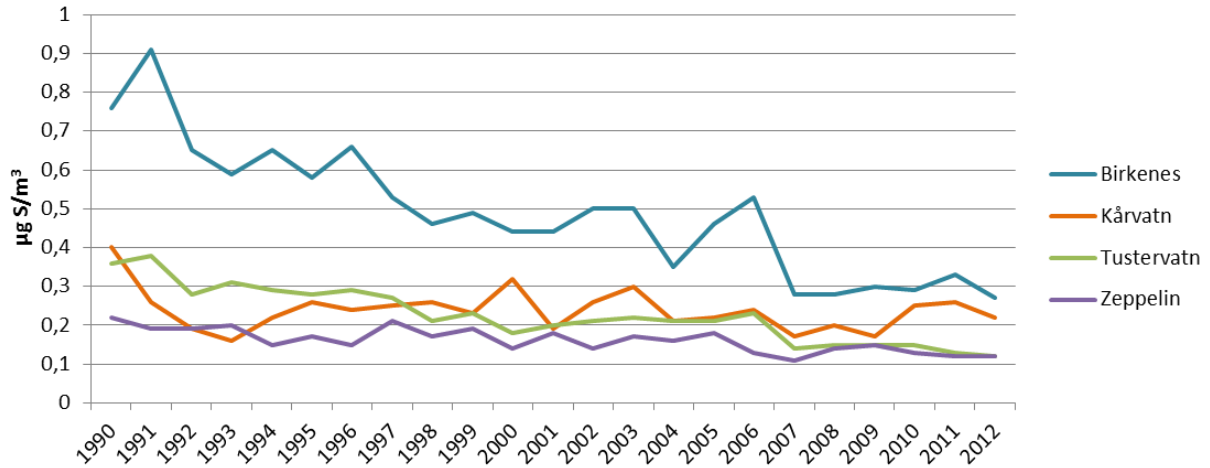
Dataene for PM-konsentrasjoner er basert på målinger langs de mest trafikkerte veiene i hver by. Målingen er derfor de høyeste konsentrasjonene i området og tilsier nødvendigvis ikke hvilke forurensningsnivåer hele bybefolkningen eksponeres for.

Statlig overvåking av sulfat

Innhold av sulfat i partikler i atmosfæren over Norge/Svalbard har gått sterkt ned siden 1980 slik Figur V5.4 viser. Reduksjonen varierer mellom 78-95 prosent på fastlands-Norge og 63 prosent på

Svalbard for perioden 1980-2011. Fra 2000 er det ikke signifikante trender med unntak av Zeppelin og Kårvatn der det har vært videre reduksjoner på i størrelsesorden 30 prosent.

De observerte endringene er i samsvar med rapporterte endringer i Europa.



Figur V5.4: Årsmiddelkonsentrasjoner av partikulært sulfat i luft ($\mu\text{g S}/\text{m}^3$) 1990-2011

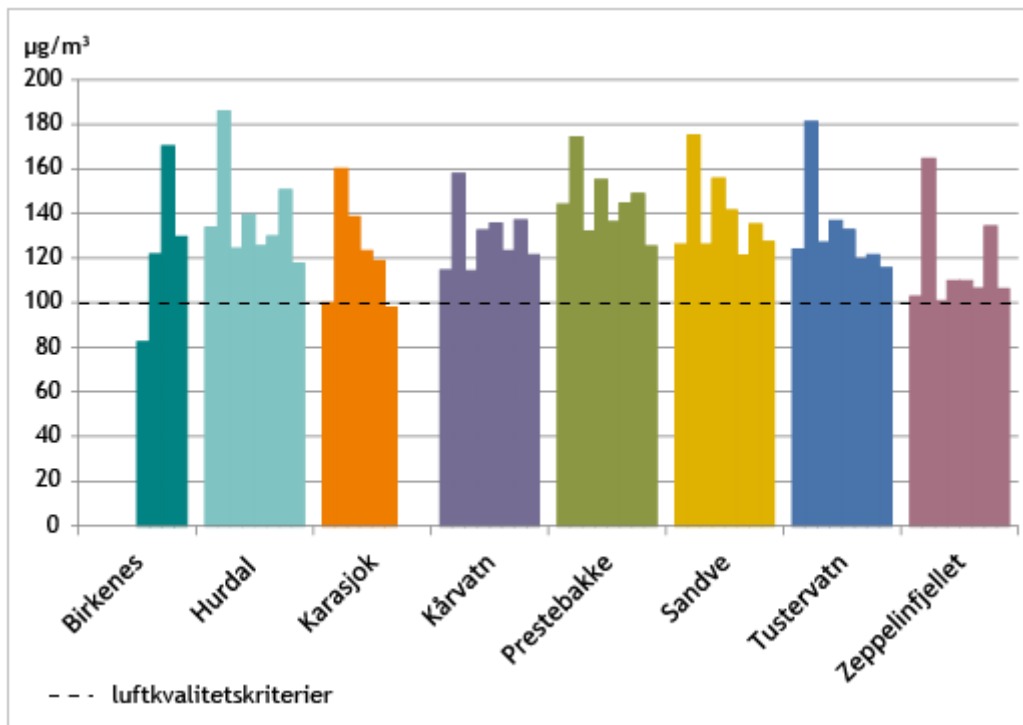
Kilde: Klif (2012a)

Statlig overvåking av ozon

Ozonkonsentrasjonen i atmosfæren over Norge/Svalbard viser ikke en entydig trend, men har store variasjoner fra år til år i tråd med meteorologiske forhold og tilførsler av ozon og ozonforløpere fra Europa (Klif, 2012a).

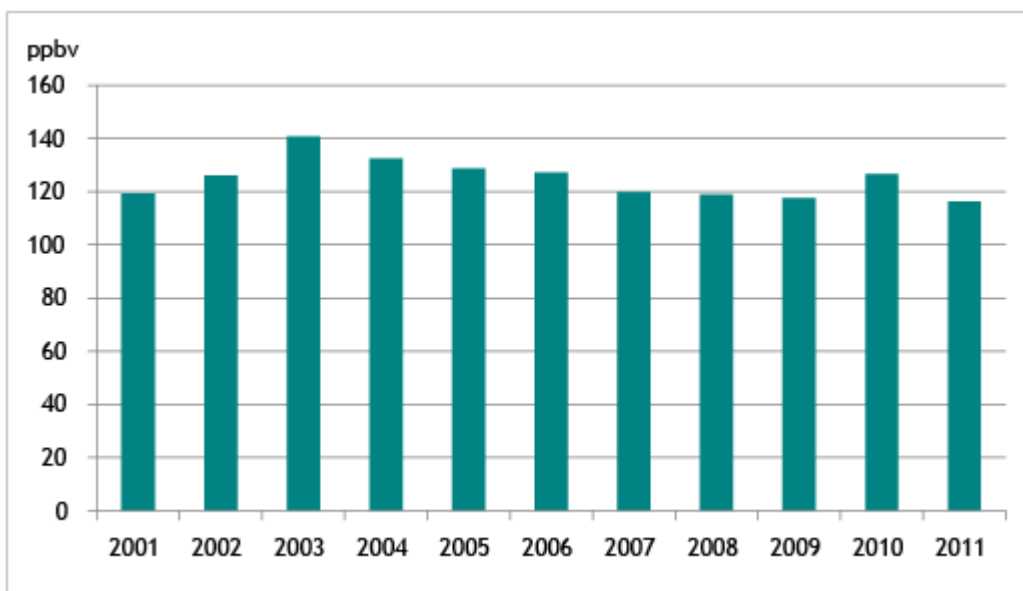
Konsentrasjon av troposfærisk ozon varierer også betydelig over året og er høyest på sommeren når solinnstrålingen er størst. Dette er nærmere forklart i kapittel 2.5, hvor klimaeffekten av modellert bakkenær ozonkonsentrasjon over Norge er beskrevet. Ozonkonsentrasjonen i Norge er dominert av langtransportert luftforurensning.

Figur V5.5 viser maksimal timesmiddelskonsentrasjon av bakkenær ozon i årene 2005-2012 for regionale bakgrunnsstasjoner i Norge.



Figur V5.5: maksimal timesmiddelkonsentrasjon for ozon i løpet av et år fra 2005-2012. Kilde: Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet (2013)

Ozonforløperen CO påvirker metan-nivået og ozondannelsen i troposfæren og er ellers en viktig indikator for forbrenning av biomasse. Den måles bare på Svalbard, og målingene for perioden 2001-2011 viser betydelige variasjoner fra år til år, bla avhengig av hvilke vindretninger som dominerer (Klif, 2013b).



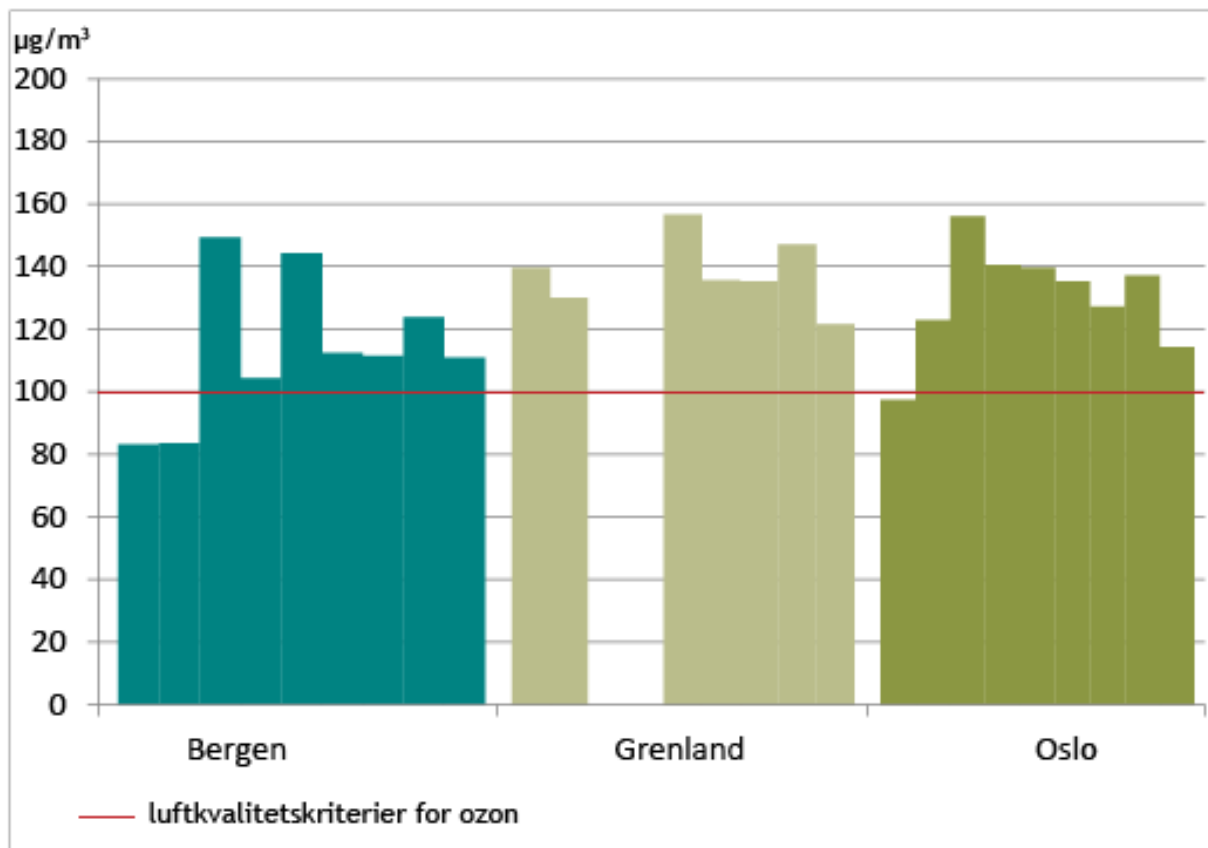
Figur V5.6: CO konsentrasjon i atmosfæren over Svalbard i perioden 2001-2011 (Klif, 2013)

Ozonforløperen nmVOC: Det finnes i dag ingen statlig overvåking av nmVOC. nmVOC har tidligere blitt overvåket av NILU utenom statlig program, men dette ble avsluttet rundt år 2000 grunnet manglende finansiering.

Ozonforløperen NO_x: Utslippene av nitrogenoksider har blitt redusert med 25 % fra 1990 til 2009 (Tørseth m. fl., 2012). Om man ser på Europa som helhet er de observerte konsentrasjonene i atmosfæren redusert tilsvarende (Tørseth m. fl., 2012).

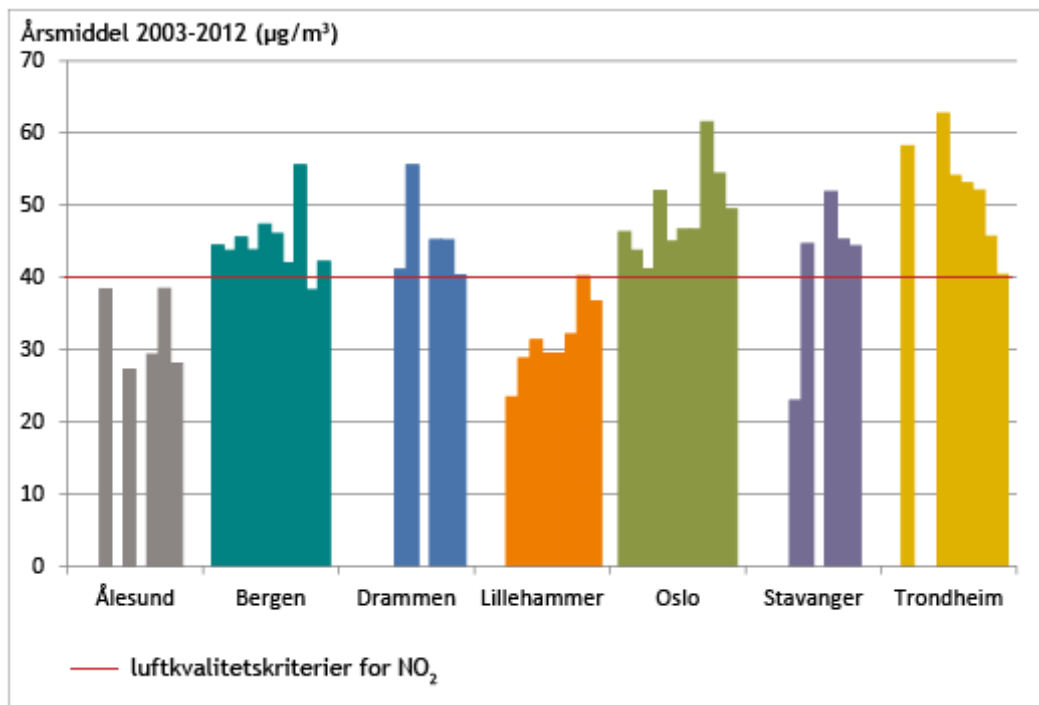
Lokal overvåking av bakkenær ozon

Ozonkonsentrasjonen blir overvåket lokalt i noen byområder i Norge i henhold til forurensningsforskriftens kapittel 7. Figur V5.7 viser maksimal timesmiddelkonsentrasjon av bakkenær ozon i årene 2004-2012 i byområdene Bergen, Grenland og Oslo.



Figur V5.7: Maksimal timesmiddelkonsentrasjonen (µg/m³) i løpet av et år for bakkenær ozon i utvalgte norske byer for årene 2004-2012. Noe data mangler på grunn av for lav datafangst. Kilde: Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet (2013)

Ozonforløperen NO₂ overvåkes i flere norske byer. Figur V5.8 er viser et utvalg av data fra norske byer. Utvalget er bl.a. basert på datakvalitet.



Figur V5.8: Årsmiddelkonsentrasjonen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av NO_2 i utvalgte norske byer for årene 2003-2012. Noe data mangler på grunn av for lav datafangst. Kilde: Miljødirektoratet og Folkehelseinstituttet (2013)

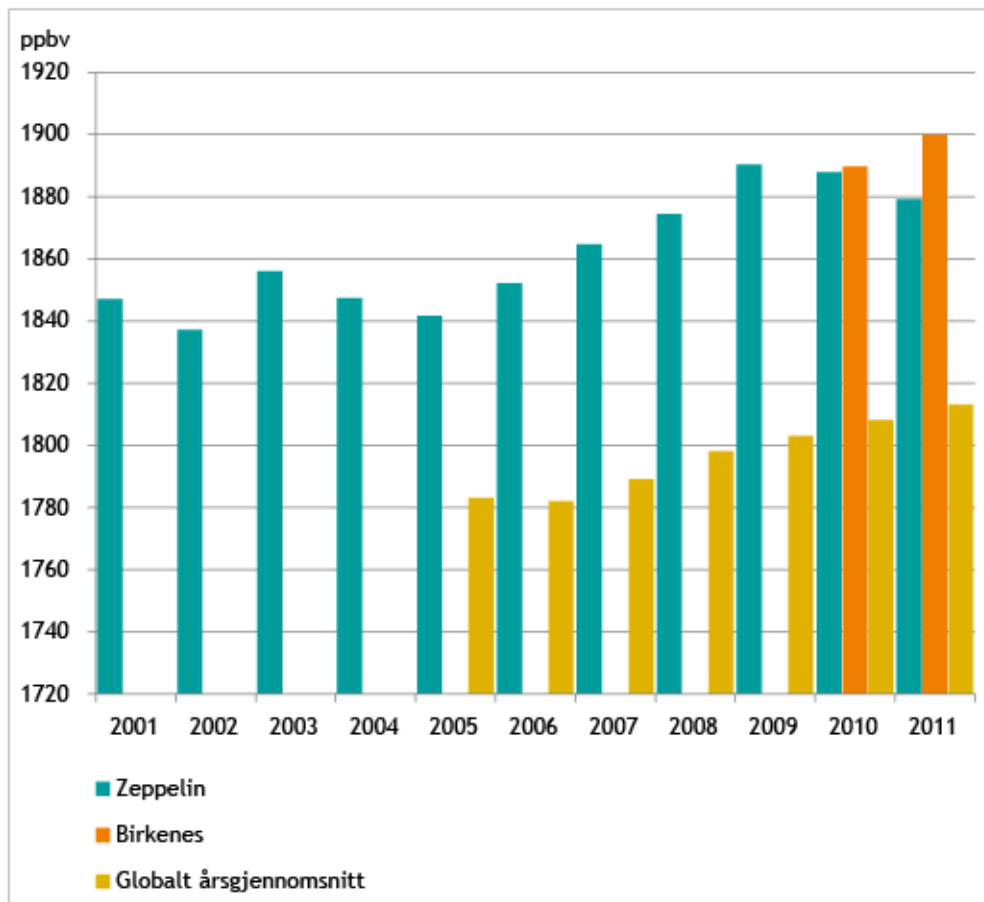
Figur V5.8 viser ingen klar trend i konsentrasjon. De fleste byene har konsentrasjonen holdt seg omtrent uendret over en tiårsperiode. I Lillehammer har konsentrasjonen hatt en stigende tendens mens den er synkende i Trondheim. Etter at grenseverdien i forurensningsforskriften ble gjeldene fra 2010 ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$), har Oslo (2010-2012), Bergen (2010 og 2012), Trondheim (2010 og 2011), Stavanger (2010-2012) og Drammen (2010 og 2011) overskredet dette konsentrasjonsnivået.

Dataene for NO_2 -konsentrasjoner i Figur V5.8 er basert på målinger langs de mest trafikkerte veiene i hver by. Målingen er derfor de høyeste konsentrasjonene i området og tilsier nødvendigvis ikke hvilke forurensningsnivåer hele bybefolkningen eksponeres for.

Statlig overvåking av metan

Metan fordeler seg ganske raskt i atmosfæren slik at konsentrasjonen er relativt likt overalt på kloden. Mindre regionale forskjeller kan oppstå pga. ulik avstand til store kilder, atmosfærisk transport, samt nedbrytningshastighet som varierer med bl.a. klimatiske forhold. Årlige gjennomsnittskonsentrasjonen varierer ikke mer enn noen få prosent fra sted til sted. Den globale metankonsentrasjon i atmosfæren har etter en sterk vekst i det 20. århundre holdt seg nærmest konstant fra 1998 til 2005, men har økt etter dette.

Utvikling i den globale metankonsentrasjonen fra 2005, samt utvikling i metankonsentrasjon ved de to norske målestasjonene Zeppelin (Svalbard) og Birkenes er vist i Figur V5.9.



Figur V5.9: Metankonsentrasjonen på Zeppelin (Svalbard), Birkenes og globalt middel 2001-2011. Merk at at skalaen på y-aksen ikke starter på null. Kilde: Klif (2013b) og tall fra NILU

Figuren viser at det har vært en vekst i den globale metankonsentrasjonen fra 2005. Utviklingen knyttes til ulike hypoteser om økte utslipp fra våtmarker, både i tropiske og arktiske områder.

Figuren viser at metankonsentrasjonene målt på Zeppelin har siden 2005 hatt nesten samme stigende tendens som den globale konsentrasjonen, med unntak av de to siste årene. Før 2005 la også utviklingen på Zeppelin flatt i om lag åtte år. Trenden over Svalbard samsvarer altså med den globale, men verdiene er noe høyere på Svalbard. Dette kan muligens forklares ved lokaliseringen på høye breddegrader på den nordlige halvkulen. For å avklare dette bedre startet NILU et nytt prosjekt, GAME, i 2011 (GAME: Causes and effects of Global and Arctic changes in the Methane budget: <http://game.nilu.no>).

Siden 2009 foreligger også målinger på Birkenes. Disse ser ut til å ligge litt over verdiene på Svalbard.

Vedlegg 6: Metode for beregning av utslippsestimater og framskrivninger

I dette kapitlet beskrives metodikk anvendt for å beregne utslipp og framskrivninger av disse.

Utarbeidelse av Norges første utslippsregnskap for svart karbon og organisk karbon

Svart karbon (BC) er den lysabsorberende andelen av fine partikler med en diameter mindre enn 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$). Organisk karbon er den reflekterende andelen av fine partikler. Summen av svart karbon og organisk karbon utgjør hovedbestanddelene av den karbonholdige delen av partikler.

Utgangspunktet for det norske utslippsregnskapet for svart karbon (BC) og organisk karbon er Norges offisielle utslippsregnskap for $\text{PM}_{2,5}$.

For alle sektorer der det er utslipp av $\text{PM}_{2,5}$ har vi vurdert om det også slippes ut BC og/eller OC fra denne sektoren. BC er beregnet som en andel av $\text{PM}_{2,5}$ -utslippet for alle sektorer utenom vedfyring i husholdningene og fakling. For vedfyring og fakling er BC-utslippene beregnet ved standard metodikk, dvs. ved å multiplisere forbruket av energivare (for eksempel diesel og ved) med en utslippsfaktor.

OC beregnes som en andel OC av $\text{PM}_{2,5}$ -utslippet for alle sektorer utenom vedfyring i husholdningene. For vedfyring er OC-utslippene beregnet ved standard metodikk.

Utslipp av fine partikler ($\text{PM}_{2,5}$) fra vedfyring står for en stor andel (58 prosent i 2011) av de totale partikkelutslippene i Norge. Utslippsfaktorer representative for norske forhold og utført med norsk målemetode ikke er tilgjengelige fra relevant litteratur for denne utslippskilden. For å kunne etablere et utslippsregnskap av tilstrekkelig kvalitet for å vurdere tiltak for å redusere svart karbon, var det essensielt å etablere nasjonale faktorer for vedfyring. SINTEF Energi har etablert slike faktorer for total mengde partikler (PM_{T} eller TSP), BC (uttrykt som EC), samt OC, fra vedfyring i lukkede ovner i husholdningene på oppdrag fra Miljødirektoratet (Seljeskog mfl., 2013). En nærmere definisjon av BC slik begrepet er brukt i dette forslaget til handlingsplan for kortlevde klimadrivere, er gitt i kapittel 1.1.1 og i Vedlegg 1.

Utslippsfaktorer ble etablert for vedovner antatt å være representative for vedovner i bruk i Norge. Eksperimentelle målinger ble utført på ovner med både gammel og ny teknologi (dvs. med produksjonsår hhv. før og etter 1998). Målingene av totalt antall partikler (PM_{T} eller TSP) ble utført i tråd med Norsk Standard for måling (NS 3058 og NS 3059). Den norske målestandard gir store mengder karbonholdige partikler på filtrene, spesielt ved lave brennrater. Filtrene ble analysert ved bruk av termisk-optisk metode (NIOSH, 1999). Den høye partikkelbelastningen ga økt måleusikkerhet spesielt for EC, men også for OC. Det ble gjennomført flere kontrollanalyser som resulterte i mindre korreksjoner i utslippsfaktorer for EC. Resulterende utslippsfaktorer representerer en forbedring i forhold til tidligere anvendte faktorer for PM, men det er behov for ytterligere kunnskapsinnhenting vedrørende utslipp av EC og OC.

Utslipp av BC fra fakling av naturgass på land og offshore representativt for norske forhold eksisterer per i dag ikke. Carbon Limits har på oppdrag fra Miljødirektoratet utført et større prosjekt for bl.a. å etablere norske utslippsfaktorer fra fakling. I mangel av nasjonale målinger, ble data fra litteraturen (McEwan og Johnson, 2013) vurdert å gi det best tilgjengelige estimatet for denne utslippskilden på nåværende tidspunkt (Carbon limits, 2013). Andeler BC av $\text{PM}_{2,5}$ -utslippet er basert på data fra IIASAs (International Institute for Applied Systems Analysis) modell GAINS (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) som dokumentert i SSB (2013).

Forbruket av energivare per sektor er det samme som for alle andre komponenter som inngår i det nasjonale utslippsregnskapet. Mengden halm som brennes i Norge hvert år ble oppdatert i samarbeid med Statens landbruksforvaltning og sentrale Fylkesmenn som ledd i utarbeidelsen av BC regnskapet (SLF, 2012). Dokumentasjonen av det norske utslippsregnskapet for BC og organisk karbon (OC) foreligger i (SSB, 2013).

Framskrivning av norske utslipp av kortlevde klimadrivere

Referansebanen for arbeidet er beskrevet i kapittel 2.10 i del I. Handlingsplanen baserer seg på framskrivninger for nasjonale utslipp til luft for årene 2020 og 2030. Framskrivningene er konsistent med Perspektivmeldingen for 2013.

Framskrivningene omfatter klimaeffekt uttrykt i $\text{CO}_{2e(\text{GTP10,Norge})}$ for følgende komponenter:

- De kortlevde klimadriverne BC og metan, samt ozonforløperne CO, nmVOC og NO_x
- Alle HFK-ene i det norske utslippsregnskapet, dvs. HFK-23, HFK-32, HFK-125, HFK134, HFK-134a, HFK143, HFK-143a, HFK-152a og HFK-227ea
- PM_{10} og $\text{PM}_{2,5}$ som BC-framskrivningen er basert på
- OC og SO_2
- De langlevde klimagassene CO_2 , PFK, SF_6 , N_2O .

Framskrivningene for CO_2 , CH_4 , N_2O , HFK-er, PFK-er og SF_6 , (Kyotogassene) og SO_2 , nmVOC og NO_x tilsvarer framskrivningene i Perspektivmeldingen fra februar 2013 (PM 2013). Framskrivningene for BC, $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , OC og CO er laget av Miljødirektoratet og er så langt mulig konsistente med makroøkonomiske forutsetninger i PM2013.

Framskrivningene i PM2013 er laget av Finansdepartementet (FIN) i samarbeid med Miljødirektoratet. Samarbeidet for Perspektivmeldingene er slik at FIN lager framskrivning for CO_2 , NO_x , nmVOC, SO_2 mens Miljødirektoratet lager framskrivning for CO, CH_4 , N_2O , HFK, PFK, SF_6 .

Framskrivningene for utslipp til luft blir laget for økonomiske sektorer (eksempelvis jordbruk, metallproduksjon, innenriks sjøfart, bygge- og anleggsvirksomhet, landtransport, husholdninger). De er laget med utgangspunkt i de makroøkonomiske framskrivningene i PM 2013 som er utarbeidet ved bruk av Statistisk sentralbyrås generelle likevektsmodell MSG (Multi-Sectoral Growth Model). Dette er en økonomisk modell som tallfester økonomiens virkemåte basert på observasjoner av historiske sammenhenger. De modellbaserte framskrivningene ivaretar endringer i viktige makrostørrelser i økonomien, herunder befolkning, produktivitet og næringsstruktur, noe som bidrar til konsistens mellom makrostørrelser i økonomien og framskrivningene. De makroøkonomiske forutsetningene for framskrivningene er vist i Tabell V6.1.

Tabell V6.1: Makroøkonomiske forutsetninger som ligger til grunn for framskrivningene i Perspektivmeldingen 2013. Kilde: FIN (2013)

	Mrd. kroner		Årlig vekst	
	2010	2012	2010/2020	2020/2030
Bruttonasjonalprodukt	2544	2 907	2,8	1,8
- Olje og utenriks sjøfart	557	706	0,0	-1,9
- Fastlands-Norge	1987	2 200	3,3	2,4
herav industri og bergverk	184	205	3,4	3,1
Konsum	1649	1 795	3,8	2,9
Bruttoinvesteringer i fast kapital	482	598	2,8	0,2
- Olje og utenriks sjøfart	124	188	1,1	-4,0
- Fastlands-Norge	358	410	3,2	1,5
	2010	2012	2020	2030
Befolkning i 1000 personer per 31.12	4920	5 051	5571	6075
Antall sysselsatte i 1000	2590	2 682	2916	3028
Oljepris per fat kroner	484	649	562	562

Utslppsmodellen er en sidemodell til MSG. Viktige drivkrefter bak utviklingen i utslipp til luft må likevel gis utenfor modellen. Framskrivningen for olje- og gassutvinning og jordbruk er lagt inn eksogent og modellresultatene er justert for blant annet veitrafikk, oppvarming og gasskraft basert på sektorinformasjon.

Framskrivningene som blir brukt i handlingsplanen er på såkalte tekniske utslippskilder (eksempelvis veitrafikk, dieseldrevne motorredskaper, oppvarming i husholdninger, energiforsyning) som er det formatet historiske utslippstall produsert av SSB og Miljødirektoratet blir publisert på. Det er Miljødirektoratet som omarbeider framskrivningene til tekniske utslippskilder og i denne omarbeidingen blir det gjort skjønnsmessige vurderinger basert på blant annet kunnskapen om utslippsregnskapet. Det er således Miljødirektoratet som står ansvarlig for framskrivningene som blir brukt i denne rapporten. Framskrivningene i handlingsplanen er konsistente med PM 2013.

Framskrivningene forutsetter at eksisterende klima- og miljøpolitikk videreføres. Det vil si at utslippsreducerende effekt av allerede vedtatte tiltak og virkemiddel før Statsbudsjettet for 2012 (St. prp. nr. 1 (2011)) er innbakt i framskrivningen. I arbeidet med handlingsplanen er det så langt som mulig konkretisert hvilke virkemiddel og tiltak som er vedtatt og som er inkludert i framskrivningen. Dette er for å sikre at vi ikke utreder virkemiddel og tiltak der utslippsreduksjonen alt er inkludert i framskrivningen.

Tabell V6.2: En oversikt over tiltak og virkemidler som ligger i referansebanen

	Virkemiddel og tiltak i referansebanen
Generelt	Basis for framskrivingen er regnskapet for 2009. Det er i tillegg i framskrivingen tatt hensyn til virkemiddel og tiltak som har kommet til etter det og som er inkludert i utslippsregnskapet for 2010 og foreløpig regnskap for 2011. Utover det er effekten av alle nye virkemiddel og tiltak som er vedtatt, men til nå ikke reflektert i utslippsregnskap, inkludert i framskrivingen. Det er generelt lagt inn effektivisering av energibruk som er basert på historisk utvikling. Effektivisering kan for eksempel være strukturelle endring, mer effektiv energiteknologi og overgang til andre energivarer
Veitrafikk	
- personbiler	Engangsavgiften på personbiler 1.1.07. 70 % av førstegongsregistrerte personbiler har i framskrivinga dieseldreven motor.
- avgasskrav alle biler	Alle avgasskrav fram til og med euroklasse 6 som kommer før 2014. Det betyr at i framskrivingen vil det aller meste av trafikkarbeidet i 2030 bli utført med biler som tilfredsstille euroklasse 6.
- biodrivstoff	Bensin: 0,6 % bioetanol. Diesel: 5,6 % biodiesel. Det er bare for CO₂ det er lagt inn effekten av biodrivstoff. Det vil si at for alle andre komponenter enn CO₂ er utslippsfaktoren for biodrivstoff den samme som for fossil bensin og diesel.
- PM_{2,5} slitasje på veg	Nedadgående trend siden 1990. Først på grunn av overgang til lettere pigger, så mer og mer piggfritt, så er det gått ut fra at utslipp per km stabiliserer seg (andelen piggfri er konstant) og utslippet øker deretter på grunn av økende trafikk.
- Elektriske biler	Elbiler i framskrivingen anslått til om lag 20.000 i 2020 og 30.000 i 2030.
Varme- og	CO ₂ -fangst fra og med 2020

kraftvarmeverk	
Energibruk	
Generelt	Økonomiske støtteordninger for å effektivisere bruken av energi og øka bruken av fornybar energi. Det er lagt inn mer effektiv bruk av energi i framskrivinga. Det betyr at effekten av økonomiske støtteordninger indirekte kan være inkludert i framskrivingen gjennom redusert vekst i klimagassutslippene fra energiproduksjon og - forbruk.
- boliger	Basert på eksisterende virkemiddel er det gått ut fra samme trendutvikling framover som historisk. Det vil si om lag å fase ut all bruk av olje i husholdningene i 2030.
- tjenesteytende næringer	Trendutvikling som betyr utslipp fra fossile energivarer ca. som i dag.
NO_x - utslipp	Første NO _x - avtale med NO _x - fondet er med i framskrivingen
Olje- og gassutvinning	RNB2012 for CO ₂ , NO _x nmVOC, CH ₄ er lagt til grunn for framskrivingen
Traktorer og motorredskaper diesel	Det er forsøkt å ta hensyn til implementerte avgasskrav i framskrivingen.
Småbåter	Trendutvikling
Vedfyring, husholdninger PM_{2,5}	Overgang fra gammel (før 1998) til ny (etter 1997) ovnsteknologi tilsvarende som den historiske trenden
Salpetersyreproduksjon - utslipp av N₂O	Utslipp per tonn produsert salpetersyre som i 2011.
Svovelavtalen med industrien	Avtalen med industrien om SO ₂ - forventede reduksjoner er ikke lagt inn ettersom det må inngås enkeltvedtak før gjeldende forpliktelser inntreffer.
S-innhold i oljeprodukter	Samme S-innhold i oljeprodukt som i dag er lagt inn i framskrivinga

Jordbruk - CH₄ og N₂O	Framskrivningen i PM2013 er basert på regnskapet per februar 2012. Metodeendring per februar 2013 har endret trend og hevet nivået i regnskapet, men en ny offisiell fremskrivning er ikke laget. Vi har anvendt utslippstall som ikke er justert med metodeendringen samt den offisielle fremskrivningen.
Metan fra avfallsdeponi	Forbudet mot å deponere avfall fra 1.7.2009 er inkludert i fremskrivningen. Fra og med 2015 er det lagt at 100.000 tonn avfall (mat, papir, trevirke, tekstiler) blir deponert. Uttaket er sett til maks 25 % av produsert metan. Dette er andelen som ble tatt ut i 2010. I 2011 var andelen 22 %.
nmVOC	Regelverk for nmVOC fra produkter er tatt hensyn til. "Forskrift om reduksjon av utslipp fra bensindamp" (Stage 1) er inkludert, men ikke Stage 2 som er utslipp ved tanken av bilen på bensinstasjon. Utslipet som er omfattet av Stage 2 var i 2011 om lag 1700 t nmVOC.

Virkemiddel og tiltak som er implementert for lenge siden er ikke inkludert i tabellen selv om mange av disse fremdeles har effekt på framtidige utslipp.

Effekt av foreslåtte tiltak som ikke er vedtatt, er heller ikke inkludert fremskrivningen.

Framskrivninger for år 2020 og 2030 er vist sammen med historiske utslipp i kapittel 1 i Del I.

Vedlegg 7: Metode for tiltaksanalysen

I dette forslaget til handlingsplan har vi gjennomført sektorvise tiltaks- og virkemiddelanalyser.

Tiltaksanalysene baserer seg delvis på oppdatering av tiltak i følgende dokumenter:

- Klif-rapport TA 2590/2010: Klimakur 2020 (Klif, 2010)
- Upublisert SFT-rapport: Tiltaksanalyse for partikkelutslipp, 2006 (SFT, 2006)
- Klif-rapport TA 3020/2013: Underlagsmaterieell for tverrsektoriell biogass-strategi (Klif, 2013a)

Resterende tiltak har blitt identifisert i arbeidet med planen. Identifikasjon av tiltak er omtalt i kapittel 4.

Metode for beregning av samfunnsøkonomiske kostnader er basert på Finansdepartementets veileder i samfunnsøkonomiske analyser (FIN, 2005). Arbeidet har i stor grad vært et utviklingsarbeid og ut fra hva vi kjenner, har det ikke vært gjort tilsvarende analyser tidligere verken i Norge eller internasjonalt. Noen sentrale elementer for metoden er gjengitt under.

Tiltak har blitt identifisert og kvantifisert innenfor ulike sektorer. Deretter er de utredet etter felles mal for tiltakskostnadene, både innenfor hver sektor og på tvers av sektorer. En styrke ved denne tilnærmingen er at detaljeringsgraden på enkelttiltak er høy. En svakhet er at analysen er partiell, det vil si at den ikke tar hensyn til eventuelle makroøkonomiske ringvirkninger av tiltak og virkemidler. Eksempelvis kan gjennomføring av tiltak påvirke produktpriser eller priser på innsatsfaktorer, som kan påvirke tilpasningen i markedene uten at dette fanges opp i analysen. Det er heller ikke beregnet skattekostnad ved bruk av offentlige midler for å utløse tiltakene, ettersom det i tiltaksanalysen ikke tas endelig stilling til valg av virkemiddel.

Den valgte metodikken gjør det mulig å sammenlikne tiltakenes relative kostnadseffektivitet på tvers av sektorer og utslippskilder. Skal man gjennomføre mange eller alle tiltakene samtidig, øker risikoen for at det vil oppstå ringvirkninger som ikke er fanget opp av analysen, eksempelvis som følge av kapasitetsutfordringer i leverandørmarkedene. Av den grunn har vi valgt å ikke presentere noe samlet tall for samfunnsøkonomisk kostnad for alle tiltakene i analysen.

Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon: Når gjennomsnittlig årlig reduksjon oppgis, er denne beregnet over tiltakets varighet fram til 2030 (dvs. fra oppstartsår til 2030) og ikke over antall år i analyseperioden (2013-2030).

Beregning av kostnadseffektivitet

Tiltakskostnadene er beregnet på samme måte i alle sektoranalysene for å kunne sammenlikne kostnadseffektivitet på tvers av tiltak og sektorer. Tiltakets levetid skal reflektere den perioden tiltakene som analyseres er i bruk. Av praktiske hensyn har vi imidlertid i denne analysen avgrenset analyseperioden til 2030. Kostnadene er angitt i 2012-kroner. Det er benyttet en kalkulasjonsrente på 4 prosent. Det er forutsatt iverksetting av tiltak og virkemidler så snart det realistisk sett er mulig. Kostnadsbrøken inneholder gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon over hele analyseperioden (2013-2030), men gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon er beregnet bare over tiltakets levetid, som er kortere enn analyseperioden og varierer fra tiltak til tiltak.

I de sektorvise analysene regnes tiltakenes samfunnsøkonomiske kostnadseffektivitet (kr/tonn $\text{CO}_{2e}(\text{GTP}_{10}, \text{Norge})$ fram til og med 2030, ved brøken:

$$\frac{\text{Gjennomsnittlig årlig nettokostnad (annuitet) over analyseperioden 2013 – 2030 i 2012 – kroner}}{\text{Gjennomsnittlig årlig utslippsreduksjon over analyseperioden 2013 – 2030 målt i GTP}_{10, \text{Norge}}}$$

Kostnad er her den samfunnsøkonomiske kostnaden og inkluderer her den verdsatte helseeffekten av tiltakene. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 2.12 i del I.

Kostnadene kan grovt deles inn i:

1. Investeringskostnader
2. Endrede netto drifts- og vedlikeholdskostnader
3. Verdsatt helseeffekt (kapittel 2.12.1)
4. Klimanytten er ikke verdsatt. Med utgangspunkt i dette kan vi si at dersom et tiltak har negativ kostnadseffektivitet (< 0), er det samfunnsøkonomisk lønnsomt. Et tiltak med positiv kostnadseffektivitet (> 0) kan imidlertid også være samfunnsøkonomisk lønnsomt.

Utslippsreduksjon er beregnet som summen av utslipp av alle avkjølede og oppvarmende komponenter gitt i $\text{CO}_{2e}(\text{GTP}_{10}, \text{Norge})$ (kapittel 2.8 og 3.2.1).

Beregningene baseres på detaljerte tidsprofiler for kostnader og utslippsreduksjoner for alle relevante komponenter. Vårt mandat er knyttet til utslippsreduksjoner innen 2030. Analyseperioden har derfor vært satt fra 2013-2030.

I de tilfeller hvor tiltaket har varighet utover 2030, er det en svakhet å avgrense analysen til 2030. Formålet med denne analysen har imidlertid vært å finne fram til tiltak som har effekt på kort sikt. I 2030 vil derfor mye av effekten av de utredede tiltakene allerede være realisert.

Den valgte kostnadseffektivitetsbrøken innebærer at kostnadene i telleren neddiskonteres, mens utslippsreduksjonene i nevneren er udiskonterte. Dette gir som resultat at kostnadseffektiviteten blir bedre jo lenger analyseperioden er.

Årsaken til at vi har valgt ikke å neddiskontere utslippsreduksjonene er at vi ikke har funnet noen god forankring i samfunnsøkonomi på hvorfor og eventuelt hvordan utslippsreduksjoner skulle vært neddiskontert. De to tradisjonelle innfallsvinklene til valg av kalkulasjonsrente som baserer seg på individenes tidspreferanser og rentebærende plassering synes ikke å passe for neddiskontering av utslippsreduksjoner av kortlevde klimadrivere.

Vedlegg 8: Nasjonale og globale vektfaktorer for beregning av klimaeffekt

Klimaeffekt av et utslipp framkommer ved å multiplisere utslippet i tonn med en vektfaktor. I dette arbeidet benytter vi GTP10, Norge som vektfaktor i vår hovedanalyse. Rasjonale for dette valget er beskrevet i kapittel 3. Alle tall er hentet fra (Hodnebrog m. fl., 2013).

Verdiene for denne vektfaktoren for de ulike komponentene, samt en rekke andre vektfaktorer er gitt i Tabell V8.1 under. Tabell V8.1: Nasjonale og globale vektfaktorer for komponenter inkludert i handlingsplanen for kortlevde klimadrivere

Komponent	GTP10, Norge	GTP20, Norge	GTP100, Norge	GTP10, global	GTP100, global	GWP10, Norge	GWP 100, global	GWP10, global
CO ₂	1	1	1	1	1	1	1	1
N ₂ O	279	303	265	279	265	273	299	273
CH ₄	86	57	4	86	4	91	25	91
NO _x	-28	-24	-1	¹ -53	-2	-17	¹⁶ -15	¹ -23
NO _x (overflate) ¹⁷	-28	-24	-1	¹ -38	-2	-17	¹ -11	¹ -12
NO _x (fly)	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	346	7	Ikke tilgjengelig	69	1098
NO _x (shipping) ¹⁸	-28	-25	-1	-132	-6	-18	-37	-85
CO	9	5	0,3	7	0,3	10	2	9

¹⁶ Faktorer fra CTM2 fra Cicero 3/6-2013, Hodnebrog m. fl. (2013).

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

¹⁸ 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.

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 ₃	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	Ikke tilgjengelig	-80	-3	Ikke tilgjengelig	-23	-145
SO ₂ (kun direkte effekt)	-74	-22	-3	-142	-6	-135	-41	-259
SO ₂ (kun direkte effekt, shipping) ²	-67	-20	-3	-152	-6	-123	-44	-277
SO ₂ (direkte og indirekte effekt)	-204	-59	-8	-390	-16	-371	-112	-712
SO ₂ (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

SF6	15144	17485	27948	15144	27948	14684	22767	14684
CF4	4854	5618	9173	4854	9173			
C2F6	8036	9294	15087	8036	15087			

Tabell V8.2: Regionale og sesongbaserte vektfactorer

Komponent/ Vektfactor, Region/Sesong (sektor)	GTP10, Norge Offshore Årlig (skip)	GTP10, Norge Vinter (DJF) (vedfyring)	GTP10, Norge Vår (MAM) (vedfyring)
BC (atmosfære og albedo)	3258	1802	4280
CO	9	5	13
nmVOC	13	12	17
NO _x	-28	-13	-36
OC	-68	-24	-77
SO2	-67	-21	-82

Vedlegg 9: Verdsetting av helseeffekter

Metodikken for å beregne helseeffekter er beskrevet i del I, kapittel 2.12. Tabellen under viser anvendt verdsettingsfaktor for alle tiltak basert på Samstad m. fl. (2010), kostnadseffektivitet med og uten helseeffekt, samt total helsegevinst.

Tabell V8. 1: Oversikt over ikke-overlappende tiltak vist i kostnadskurve.

Sektor	Tiltak	Verdsetting s-faktor PM10 kr/kg	Rasjonale	Verdsetting s-faktor NOx kr/kg	Rasjonale
Jordbruk	Redusert spill av mat	Ikke relevant	Ingen PM-reduksjoner	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner
	Overgang fra rødt kjøtt til hvitt kjøtt	Ikke relevant	Ingen PM-reduksjoner	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner
	Biogass fra husdyrgjødsel (produksjon)	Ikke relevant	Alle utslipps-reduksjoner av PM skjer i anvendelsen(transport-sektor)	Ikke relevant	Alle utslipps-reduksjoner av NOx i transport-sektor
Transport	Ettermontering og innfasing av partikkelfilter på kystskip	0	Utslipp i hovedsak utenfor tettbygde strøk	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner
	Ettermontering og innfasing av partikkelfilter på fiskebåter	0	Utslipp i hovedsak utenfor tettbygde strøk	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner
	Ettermontering av partikkelfilter på anleggs-maskiner	462	Forutsatt at utslipp i gjennomsnitt finner sted i tettbygde strøk	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner
	Ettermontering av partikkelfilter på traktorer	0	Utslipp i hovedsak utenfor tettbygde strøk	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner
	Ettermontering av partikkelfilter på lette kjøretøy	1722	Forutsatt at utslipp i gjennomsnitt finner sted i byer	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner
	Ettermontering av partikkelfilter på tunge kjøretøy	462	Forutsatt at utslipp i gjennomsnitt finner sted i tettbygde strøk	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner

	Innfasing av biogass til buss fra våtorganisk avfall	2734	Lagt til grunn vektet snitt mellom by og tettbygd	158	Lagt til grunn vektet snitt mellom by og tettbygd
	Innfasing av biogass til buss fra husdyrgjødsel (anvendelse)	2734	Lagt til grunn vektet snitt mellom by og tettbygd	158	Lagt til grunn vektet snitt mellom by og tettbygd
Opp-varming i bygg	Forsert utskifting av nye ovner og pelletskaminer	462	Forutsatt at utslipp i gjennomsnitt finner sted i tettbygde strøk	Ingen	• Små NOx-reduksjoner som ikke kan tas hensyn til ettersom utslippene ikke inngår i framskrivningene i PM2013 • Har liten betydning for analysen
	Bedre fyrings-teknikk, ettersyn og vedlikehold	462	Forutsatt at utslipp i gjennomsnitt finner sted i tettbygde strøk	Ingen	
HFK i produkter	Oppfølging av lekkasje-kontroll og oppsamling av HFK-er	Ikke relevant	Ingen PM-reduksjoner	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner
	Redusere fyllings-behovet og benytte HFK med lavere klimaeffekt	Ikke relevant	Ingen PM-reduksjoner	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner
Petroleum	Økt gjenvinning av nmVOC og metan ved råoljelasting offshore	Ikke relevant	Ingen PM-reduksjoner	Ikke relevant	Ingen NOx-reduksjoner
	Ettermontering og innfasing av partikkelfilter på mobile rigger	0	Utslipp i hovedsak utenfor tettbygde strøk	0	
Industri	Energi-effektivisering i industri	462	Forutsatt at utslipp i gjennomsnitt finner sted i tettbygde strøk	52,5	Forutsatt at utslipp i gjennomsnitt finner sted i tettbygde strøk
	Ombygging til Freiland-prosessen i silisiumkarbid-industrien	Ikke relevant	Ingen PM-reduksjoner	Ikke relevant	

Vedlegg 10: Eksisterende nasjonale virkemidler for kortlevde klimadrivere

Det er innført en rekke virkemidler for å redusere utslipp av de fleste av de kortlevde klimadrivere i Norge. Disse er enten spisset mot en sektor, eller mot den enkelte komponent. De viktigste av disse er gitt i Tabell V10.1 på neste side.

I tillegg til virkemidlene listet i tabell V10.1, er det innført en rekke, mer generelle virkemidler for å redusere utslipp av CO₂. Slike er CO₂-avgiften, klimakvotesystemet, ulike stimuli for å redusere transportomfang og lignende. Felles for de fleste av disse er at de er rettet mot å redusere utslipp fra forbrenning av fossile brensler. Dermed vil de også indirekte bidra til å redusere de kortlevde klimadriverne som er et resultat av ufullstendig forbrenning av fossilt drivstoff. Disse er likevel ikke omfattet av Tabell V10.1.

Tabell V10. 1: Oversikt over eksisterende virkemidler med effekt på kortlevde klimadrivere.

Sektor	Partikler*	Ozonforløpere			Metan (CH4)	HFK
		NOx	nmVOC	CO		
Landbasert industri (som definert i Ff **kap 36)	Vilkår om utslipp av støv	Vilkår i tillatelse NOx-avgift NOx-avtale	Vilkår i tillatelse	Vilkår i tillatelse	Ingen	Ingen
Olje og gassutvinning, offshore		Vilkår i tillatelse NOx-avgift NOx-avtale	Vilkår i tillatelse		Vilkår i tillatelse	Ingen
Olje og gassutvinning landanlegg, inklusive oljeraffinerier	Vilkår i tillatelse til oljeraffinerier	Vilkår i tillatelser NOx-avgift NOx-avtale	Vilkår i tillatelse	Vilkår i tillatelse	Vilkår i tillatelse	Ingen
Oppvarming i bygg	Teknisk forskrift: Krav om nye lukkede ildsteder med utslippsgrense på 10 g/kg partikler. Blant annet gir Oslo kommune støtte utskifting av vedovner / montering av etterbrennere Energimerking bygg***	NOx-avgift NOx-avtale	Støtte Enova ENØK	Støtte Enova ENØK	Ingen	(se under Produkter)
Energiproduksjon (bør skilles ut - vi har ikke sett på det siste)		Støtte Enova ENØK				
Transport						
Veitransport	Euro-kravene	Kjøretøyforskrift §25	Stimulering el-biler	Kjøretøyforskrift §25	Stimulering el-biler	Kjøretøyforskrift §20

Sektor	Partikler*	Ozonforløpere			Metan (CH4)	HFK
		NOx	nmVOC	CO		
	Kjøretøyforskrift §25 Stimulering el-biler Vrakpant	Stimulering el-biler NO2-komponent i engangsavgift		Stimulering el-biler		
Jernbane	Kjøretøyforskrift jernbane kap 6****	Kjøretøyforskrift jernbane NOx-avgift NOx-avtale	Ingen	Kjøretøyforskrift jernbane	Ingen	Ingen
Luftfart	Utslippsgrenser (BSL-2-2) for sot	Utslippsgr. (BSL-2-2) NOx-avgift NOx-avtale	Ingen	Utslippsgrenser (BSL-2-2)	Ingen	Ingen
Skipsfart	Krav til type brennolje	Marpol-forskriften NOx-avgift NOx-avtale	Marpolforskriften	Ingen	Ingen	Ingen
Off-road	Kjøretøyforskr §25 Maskinforskriften	Kjøretøyforskr §25 Maskinforskriften	Ingen	Kjøretøyforskr §25 Maskinforskriften	Ingen	Ingen
Produkter	Ingen	Ingen	Ff kap 9 om bruk av organiske løsemidler. Produktforskriften §2-25 lakk/maling. Forskrift om utslipp av bensindamp.	Ingen	Ingen	Avgift ved import. Refusjon ved destruksjon. Produktforskriften kapittel 6a

Sektor	Partikler*	Ozonforløpere			Metan (CH4)	HFK
		NOx	nmVOC	CO		
Jordbruk	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen
Avfall	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Krav avfallsforsk/Ff om oppsamling og faking. Deponiforbud Avgift sluttbehandling	Ingen
Andre punktutslipp:						
Krematorier	Ff kap 10, grenseverdier støv.	Ingen	Ingen	Ff kap 10, grenseverdier utslipp	Ingen	Ingen
Asfaltverk	Ff kap 24 krav utslipp støv	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen
Forbrenningsanlegg rene brenslere	Ff kap 27 Grenseverdier utslipp støv	Ff kap 27 grenseverdier		Ff kap 10, grenseverdier utslipp	Ingen	Ingen
Mekanisk overflatebehandling	Ff kap 29 krav til utslipp støv	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen
Produksjon pukk, grus ++	Ff kap 30 krav til utslipp støv	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen

*Det er ingen særskilte virkemidler rettet mot svart karbon, derfor er virkemidlene rettet mot PM_{2,5} - eller partikler og støv generelt listet.

**Ff = Forurensningsforskriften - Forurensningsforskriftens kapittel 7 om lokal luftforurensning gjelder for alle sektorer. Den setter grenseverdier for konsentrasjoner av PM_{2,5} og PM₁₀, NO₂ og NO_x samt CO. Videre stilles det krav til overvåking av ozon og mål for bakkenær ozon.

*** Stiller ikke krav til annet enn energieffektivisering, men kontrollordningen sjekker mange relevante parametere

****Kjøretøyforskriften for jernbane. Denne viser til TSI LOC & PAS, som igjen viser til EU-regulering om ikke-veigående motorredskapet, som er inkorporert i Maskinforskriften i Norge.

Vedlegg 11: Usikkerheter og følsomhetsanalyser

Analysen er beheftet med usikkerhet. Vi har valgt å vektlegge store, fundamentale, usikkerheter, framfor mer tradisjonelle følsomhetsanalyser der man eksempelvis endrer forutsetningene knyttet til energipriser eller kalkulasjonsrenter med noen prosent, fordi usikkerheten i utslippsdata (spesielt for BC og OC) og utslippenes klimarespons er beheftet med større usikkerheter enn ved tilsvarende analyser for langlevde klimagasser og luftforurensere.

Usikkerhet forbundet med utslippsregnskap, framskrivinger og beregnede utslippsreduksjoner

Utslippsregnskapene for de kortlevde klimadriverne er beheftet med varierende grad av usikkerhet. For mange av de kortlevde komponentene er usikkerheten kvantifisert ved bruk av statistiske metoder. Metan- og HFK regnskapene har en usikkerhet på rundt henholdsvis 14 og 50 prosent (Klif, 2013b). Usikkerheten i NO_x og nmVOC utslipp har usikkerhet på henholdsvis 12 og 15 prosent, mens usikkerheten til den avkjølede komponenten SO₂ er anslått til 5 prosent (SSB, 2001).

Usikkerhetsberegningen for metan og HFK er av nyere dato, og ikke nødvendigvis direkte sammenlignbare med usikkerhetsberegningene av SO₂, NO_x og nmVOC. Usikkerhetene i det norske partikkelregnskapet er ikke kvantifisert. Fra usikkerhetsberegninger foretatt av andre land kan det antas at usikkerheten i partikkelutslipp er betydelig og i størrelsesorden 200 prosent (Vestreng m. fl., 2005).

SINTEF (2013) har gjort en ekspertvurdering av usikkerheten i målingen av utslippsfaktorer for partikler (TSP, PM_T), EC og OC fra norske vedovner. Usikkerheten i PM er anslått å være rundt 7 prosent. Usikkerheten i EC er antatt å være høyere for nye ovner (45 prosent) enn for gamle (27 prosent), noe som skyldes at testmålingene medførte større korreksjoner i EC målinger fra nye ovner enn fra gamle.

Usikkerheten i EC og OC skyldes hovedsakelig at den norske målestandard (NS 3058 og NS 3059) ga for store mengder karbonholdige partikler på filtrene det analyseres på. Det resulterte i at laserinstrumentet som ble brukt til å måle EC og OC i mange tilfeller ikke ga troverdige måleresultater. Filtrene ble analysert ved bruk av termisk-optisk metode (NIOSH protokoll 5040, 1999), og det var nødvendig å foreta flere korreksjoner av resultatene. Resulterende utslippsfaktorer representerer en forbedring i forhold til tidligere anvendte faktorer for PM, men det er behov for ytterligere kunnskapsinnhenting og eventuell tillempling av Norsk Standard vedrørende utslippsmålinger av EC og OC.

Carbon Limits har på oppdrag fra Miljødirektoraet utført et større prosjekt for bl.a. å oppdatere og etablere norske utslippsfaktorer fra fakling. Prosjektet klarte ikke å etablere en utslippsfaktor for BC. I mangel av nasjonale målinger, ble data fra litteraturen (McEwen mfl., 2012) vurdert å gi det best tilgjengelige estimatet for denne utslippskilden på nåværende tidspunkt (Carbon Limits, 2013). Resultatene fra prosjektet indikerer at utslippsfaktoren som brukes for metan kan være for lav.

Usikkerheten forbundet med framskrivningene vil generelt være høyere enn usikkerheten i de historiske utslippene da det er langt flere antagelser som legges til grunn.

Usikkerhet forbundet med klimaeffekten

En rekke forhold bidrar til usikkerhet forbundet med beregning av klimaeffekten av ulike klimarelaterte komponenter:

- Strålingsberegninger: Direkte og indirekte effekter av aerosoler
- Klimasensitivitet
- Usikkerhet i kjemiberegningene i modellene
- Meteorologi
- Utslippsestimater
- Endringer i karbonsyklusen
- Effekt av ozonforløpere på oksidering av SO₂ til sulfatpartikler

Indirekte effekt av aerosoler (faste stoffer i luft), endring i karbonsyklus og effekt av ozonforløpere på oksidering av SO₂ til sulfatpartikler er ikke inkludert i modelleringen som er utført ifm. handlingsplanen, noe som i seg selv bidrar til usikkerhet.

Direkte effekter: BC, OC og SO₂ og aerosoler har både direkte og indirekte effekter. Mens den direkte effekten skyldes spredning og/eller absorpsjon av solinnstråling, endrer de indirekte effektene de mikrofysiske egenskapene og strålingsegenskapene til skyene, og også skymengde og levetider til skyene. Usikkerhet i klimaeffekten av aerosoler er stor. Spesielt er kunnskapen om tilordning av effekter til individuelle aerosoler begrenset når det kommer til samspillet mellom aerosoler og skyer.

Usikkerheten i den direkte effekten til det samlede antropogene klimapådrivet til aerosoler er i AR5 (IPCC, 2013) estimert til $-0,35 \text{ Wm}^{-2}$ med en usikkerhet på $\pm 143\%$, men dette varierer for hver aerosoltype. Klimapådrivet til sulfatpartikler er det samme i AR5 som i AR4 ($-0,4 \text{ Wm}^{-2}$) og med usikkerhet på $\pm 50\%$. Klimapådrivet for BC fra fossile- og biobrensler har blitt oppjustert kraftig fra AR4 og er det samme som for sulfat men med motsatt fortegn ($+0,4 \text{ Wm}^{-2}$) og med et større usikkerhetsintervall (-88% til $+100\%$). Estimater for den direkte effekten av OC fra fossile- og biobrensler er $-0,09 \text{ Wm}^{-2}$ med en usikkerhet på -78% på nedsiden og 67% på oppsiden. I en nytt studie av (Myhre m. fl., 2013) har 16 detaljerte globale aerosolmodeller blitt benyttet for å beregne den direkte aerosoleffekten pga. av antropogene utslipp. De konkluderer med at forskjellene mellom modellene er store, f.eks. er det relative standardavviket til klimapådrivet til fossilt BC større enn 40% , men at usikkerheten i den totale direkte aerosoleffekten er mindre enn for summen av direkte aerosoleffekt til de individuelle aerosolkomponentene.

Indirekte effekter: Den indirekte effekten blir ofte delt opp i «skyalbedoeffekten» (første indirekte effekt) og «levetid på sky-effekten» (andre indirekte effekt). Det er vanskelig å skille ut bidragene til de indirekte effektene for de ulike aerosoltypene.

De indirekte effektene til aerosoler har betydelig større usikkerhet enn den direkte effekten. Usikkerheten for de enkelte aerosoler er vanskelig å skille fra hverandre, og ofte tillegges man hele den indirekte effekten til SO₂. I AR4 er den indirekte effekten en faktor 1,75 av den direkte effekten av SO₂. Grunnet stor usikkerhet kan denne faktoren ifølge AR4 ligge mellom 0,75 og 4,5 for globale utslipp.

I AR5 er usikkerhet forbundet med effekten på skyer av alle typer aerosoler beskrevet (Tabell 8.6 i IPCC (2013)). Klimapådrivet er anslått til å være $-0,45 \text{ Wm}^{-2}$ med usikkerhet -167% på nedsiden og 100% på oppsiden. Å beregne effekter av aerosoler på skyer for ulike regioner i Norge vil i følge Cicero ikke være meningsfullt gitt det nåværende kunnskapsgrunnlaget.

Klimasensitivitet: Å gå fra vekt faktoren GWP til GTP medfører større usikkerhet ettersom vekt faktoren da også må inkludere en funksjon som beskriver temperaturresponsen som følge av et klimapådriv. I en studie av (Olivie og Peters, 2012) ble det funnet økende usikkerhet i GTP, som følge av økende usikkerhet i temperaturresponsfunksjonen med økende tidshorisont og lavere usikkerhet ved lengre levetider. For metan fant de en usikkerhet i GTP på $-12/+10\%$ for 20-års tidshorisont, mens den økte til $-77/+75\%$ for 100-års tidshorisont. Komponenter med kortere levetid hadde enda større usikkerhetsintervaller.

Kjemiberegninger: Hodnebrog m. fl. (2013) har brukt data fra litteraturen til å anslå usikkerheten i kjemiberegningene som gjøres ifm. vekt faktorberegningene. Usikkerheten i vekt faktorene baserer seg her kun på usikkerhet i de kjemiske prosessene, ikke usikkerhet tilknyttet til CO₂- eller temperaturrespons. For 20-års tidshorisont (100-års tidshorisont gitt i parentes) vil GWP-verdiene vi har modellert i forbindelse med handlingsplanen ha en omtrentlig usikkerhet (for 1 sigma) på $\pm 28\%$, ($\pm 27\%$), 45% ($\pm 45\%$) og $\pm 41\%$ ($\pm 47\%$) for hhv. CO, NO_x og nmVOC (Fry m. fl., 2012). Usikkerheten i GTP-verdiene for 20-års tidshorisont er anslått til $\pm 38\%$, $\pm 31\%$ og 68% for hhv. CO, NO_x og nmVOC (Collins, W m. fl., 2013). Collins, W m. fl. (2013) har ikke oppgitt usikkerheter for en tidshorisont på 10 år.

Meteorologi: Meteorologiske forhold kan variere sterkt fra år til år, noe som kan ha stor betydning for beregninger av klimaeffekt. I transportmodellberegningene som er gjort ifm. handlingsplanen er det benyttet "virkelig" i motsetning til "interaktiv" meteorologi. Det vil si at meteorologien er ferdig analysert ("slik var været det året"), ligger fast i modellen og det er ingen interaksjon mellom meteorologi og for eksempel utslipp. For å gjøre resultatene mindre avhengig av valg av meteorologisk år, og dermed redusere usikkerheten noe har det i modellberegningene som er benyttet ifm. handlingsplanen blitt benyttet meteorologi både fra 2006 og 2007. Disse årene er utfyllende år, hvor 2006 var mild og nedbør nær normalen (1961-1990) mens 2007 var noe kjøligere og med nedbør over normalen. 2007 var spesielt fuktig på våren og vinteren, i motsetning til 2006 som hadde tørr vår og sommer, men noe fuktigere høst. Våren var ekstra kald i 2006, men mild i 2007. I beregningene er resultatene angitt for gjennomsnittet av 2006 og 2007.

En sammenligning av klimapådrivet per kg utslipp viser at forskjellen i resultater mellom de to årene er forholdsvis liten på årlig basis - i størrelsesorden 5-15 % for de fleste ozonforløpere/regioner selv om disse årene var svært forskjellige når det kommer til meteorologiske forhold, mens forskjellene øker vesentlig når resultater sammenlignes per sesong.

Utslippsestimater: Usikkerheten i utslippsestimatene (Se kapittel 1) vil gjenspeiles i usikkerheten for beregning av klimaeffekt uttrykt som CO₂-ekvivalenter. Ved beregning av klimaeffekter **per utslippsenhet** (vekt faktorer) vil usikkerhet i utslippsdata derimot ha svært liten betydning for resultatene.

Endringer i karbonsyklusen: Endringer i konsentrasjoner av visse gasser føre til endringer i karbonsyklusen, som igjen vil ha betydning for klimaet (f. eks. Sitch m. fl., 2007). Collins, W J m. fl. (2010) studerte effekten av bakkenært ozon på vegetasjon, og fant at det reduserte opptaket av CO₂ (som en følge av økte ozonkonsentrasjoner og dermed skader på vegetasjonen) førte til en 10 % økning i GTP(20) for metan. Endringer i karbonsyklusen forårsaket av norske utslipp er ikke inkludert i modelleringen som er utført ifm. handlingsplanen

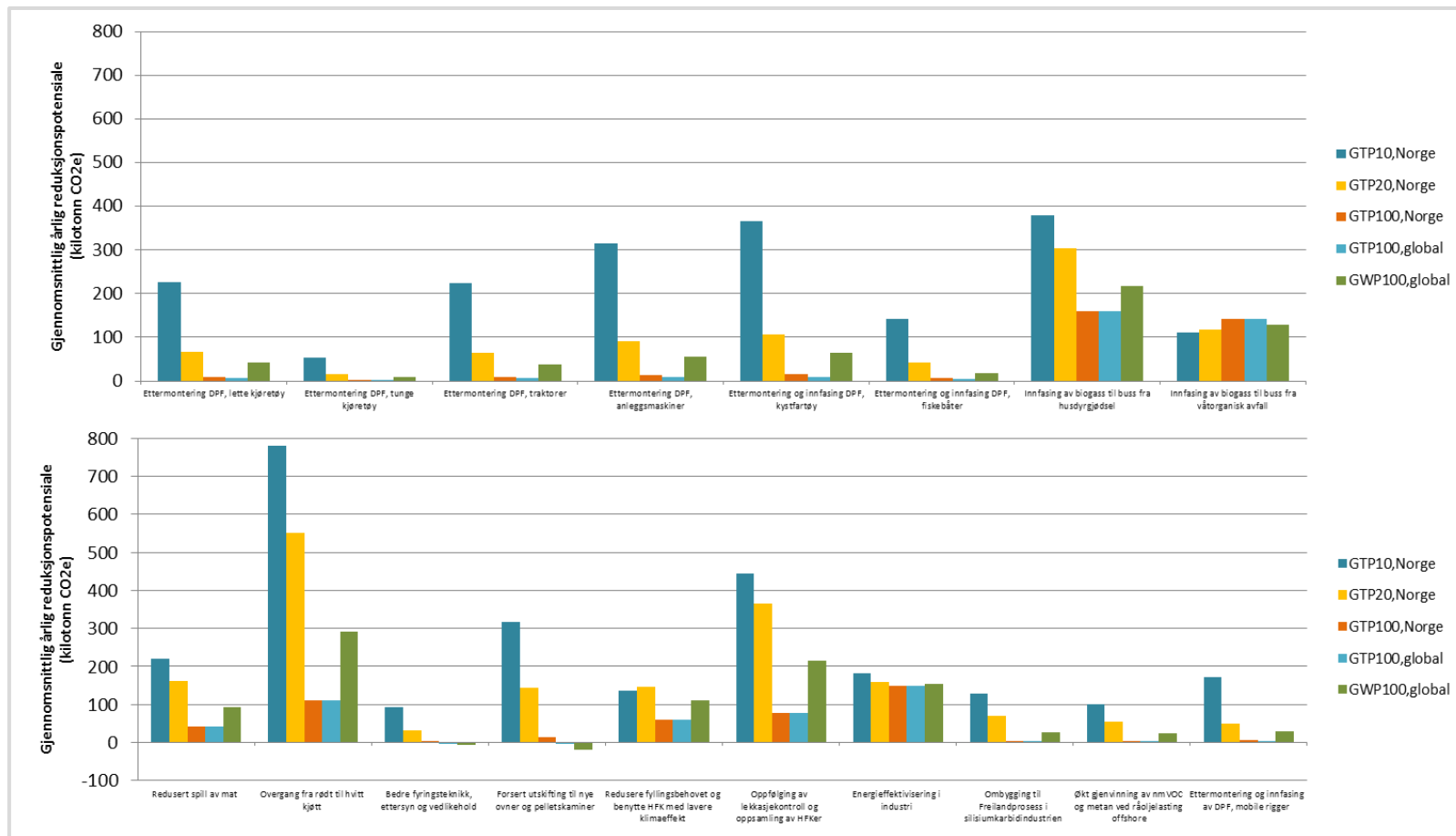
Effekt av ozonforløpere på oksidering av SO₂ til sulfatpartikler: Effekten av ozonforløpere (gjennom produksjon av OH) på oksidering av svoveldioksid (SO₂), kan også føre til endringer i sulfatpartikler. Denne effekten ser ut til å være relativt liten i forhold til ozonforløpernes effekt på ozon og metan, men det er stor usikkerhet i transportmodellberegninger når det gjelder størrelsen og fortegnet til sulfateffekten av ozonforløperne (Fry m. fl., 2012). Effekten av ozonforløpere på sulfat ikke er tatt hensyn til i modelleringen ifm. handlingsplanen, men denne effekten er relativt liten (se figur 4 i

Collins, W m. fl. (2013) i forhold til effekten av ozonforløpere på ozon og metan (Shindell og Faluvegi, 2009).

Følsomhetsanalyser

Den totale usikkerheten i beregningene av klimaeffekter er ikke kvantifisert, men vi har foretatt sensitivitetsanalyser som illustrerer klimaeffekten av de utredede tiltakene ved ulike beregningsmetoder, tidshorisonter og regioner.

Klimaeffekten av utslippsreduksjonene i de utredede tiltakene er beregnet basert på vekt faktoren GTP10,Norge og beskriver den globale klimaeffekten etter ti år av utslippsreduksjoner i Norge. Utslippsreduksjonene i CO₂-ekvivalenter, og dermed også kostnadseffektiviteten, vil endres med en annen vekt faktor. Vi har utført følsomhetsanalyser med forskjellige vekt faktorer for å undersøke betydningen av valg av vekt faktor i tiltaksanalysen, for å se på usikkerheter forbundet med om tiltakene også er tiltak med klimaeffekt på lang sikt. Figur V11.1 viser hvordan utslippsreduksjonene endrer seg ved de tre vekt faktorene GTP20, Norge (global klimaeffekten av norske utslipp etter 20 år), GTP100,Norge (klimaeffekten av norske utslipp etter 100 år) og GWP100,global (klimaeffekten av et globalt utslipp etter 100 år beregnet med Global Warming Potential (GWP) i stedet for GTP10,Norge som er brukt i tiltaksanalysen (se definisjoner av GTP og GWP i vedlegg 1)). Endringer i kostnadseffektivitet er kun omtalt og vises ikke i figur. Generelt blir tiltakene dyrere (mindre kostnadseffektive) når reduksjonspotensialet reduseres.



Figur V11.1: Gjennomsnittlig årlig reduksjonspotensiale i kilotonn CO₂e for 18 ikke-overlappende tiltak ved bruk av ulike vektfactorer (GTP10,Norge, GTP20,Norge, GTP100,Norge, GTP100,global og GWP100, global)

Klimaeffekten av norske utslippsreduksjoner i GTP med lengre tidshorisont (GTP20,Norge og GTP100,Norge)

For alle tiltak bortsett fra *Innfasing av biogass til buss fra våtorganisk avfall* går klimaeffekten av norske utslipp ned når man øker tidshorisonten fra 10 til 20 eller 100 år ved bruk av GTP. Dette er fordi klimaeffekten avtar med økende tid fra utslippstidspunktet for kortlevde klimadrivere. Følsomhetsanalysen indikerer derimot at klimaeffekten av *Innfasing av biogass til buss fra våtorganisk avfall* vil være bedre på lang sikt. Årsaken til det er økningen i metanutslipp og reduksjonen i NO_x som dette tiltaket medfører. De økte metanutslippene får mindre effekt på lang sikt, ergo bedres klimaeffekten. NO_x reduksjonene leder til mindre oppvarming på lang sikt, og det bidrar også til at klimaeffekten blir bedre. Man skulle kanskje tro at dette resonnementet også gjaldt for biogasstiltaket basert på husdyrgjødsel. Det gjør det ikke fordi tiltaket samlet sett gir en reduksjon i metanutslipp på grunn av at reduksjonen i metanutslipp fra produksjon av biogass langt overstiger utslippet forbundet med anvendelsen som drivstoff i buss.

Tiltakene med størst forskjell mellom kort (10 og 20 år) og lang (100 år) tidshorisont er tiltakene som reduserer BC mest (partikkelfiltertiltakene), CO (industritiltaket på omlegging til ny prosess) og nmVOC (petroleumstiltaket om økt gjenvinning fra bøyelast) fordi disse komponentene har kortest levetid i atmosfæren av alle de kortlevde klimadrivene som vi har sett på. Tiltaket med energieffektivisering i deler av industrien har liten forskjell mellom vektfaktorene fordi CO₂ reduseres samtidig med de kortlevde klimadrivene og dominerer klimaeffekten på lengre sikt.

Klimaeffekten av globale utslippsreduksjoner i GWP med 100 års tidshorisont (GWP100,global)

GWP100,global er den mest brukte vekt faktoren i internasjonal sammenheng når man skal sammenligne klimaeffekten fra forskjellige klimagasser. Beregningene våre viser at klimaeffekten av tiltakene øker for nesten alle tiltak med denne vekt faktoren relativt til GTP100, global. Dette er kort fortalt fordi GWP summerer opp klimaeffekten av et utslipp over hele tidshorisonten, mens GTP gir et øyeblikksbilde i et gitt tidspunkt. Begge vekt faktorene beskriver klimaeffekten relativt til CO₂.

Unntakene er de to vedfyringstiltakene. Vedfyringstiltakene kommer ut med negativ klimaeffekt (oppvarming) ved bruk av GWP100,global. Dette kommer av at disse tiltakene primært kan karakteriseres ved BC- og OC-reduksjoner, og klimaeffekten av norske BC- utslipp per kilo er mye høyere enn BC sluppet ut andre steder på kloden (Se kapittel 3.2.1). I et GWP100, global perspektiv blir ikke avkjølingseffekten av å redusere BC stor nok til å veie opp for den oppvarmende effekten man får ved å redusere OC. For de to vedfyringstiltakene betyr det at de ikke lenger er klimatiltak i tillegg til at de blir mye dyrere. Vi kan altså fremdeles vurdere dette som et klimatiltak i Norge, men tilsvarende vedfyringstiltak andre steder i verden vil ikke ha samme klimaeffekt. Det vil derimot være knyttet store helsegevinster til å redusere utslipp fra vedfyring og dette gjelder selvsagt over hele kloden.

Det vil være noen små forskjeller ved å bruke for samme tidshorisont/region (for eksempel GWP100, global og GTP100, global) og den største forskjellen er for BC siden effekten av BC er så stor i starten av perioden, som GTP ikke tar hensyn til.

Usikkerheter forbundet med helseeffekter

Som forklart i kapittel 2.12, har vi i mangel av norske verdsettingsfaktorer for BC og PM_{2,5} verdsatt helseeffekten av de PM₁₀-reduksjonene som følger av våre BC-tiltak. Denne helseeffekten er vel dokumentert, men reflekterer ikke direkte helseeffekten av BC.

Per tonn vil helseeffekten av BC-utslipp være større enn for PM₁₀-utslippene, men ettersom BC-utslippene er en delmengde av PM₁₀-utslippene vil antall tonn BC-utslipp fra en kilde være lavere enn antall tonn PM₁₀-utslippene fra samme kilde. Det er vanskelig å anslå hva nettoeffekten av disse faktorene vil være.

Verdsettingsfaktorene vi bruker er utviklet for å beskrive helseeffekter av veitrafikkutslipp. Utslipp til luft fra for eksempel vedfyring vil kunne ha en annen sammensetning av partiklene og skje lengre unna personene som eksponeres. Det er foreløpig ikke tilstrekkelig grunnlag for å si at vedfyringspartikler er mindre skadelig enn partikler fra transport. Vi har derfor valgt å benytte de samme verdsettingsfaktorene for utslipp fra vedfyring som for utslipp fra andre kilder. Verdsettingsfaktorene er nærmere beskrevet i vedlegg 9.

Usikkerheter forbundet med miljøeffekter

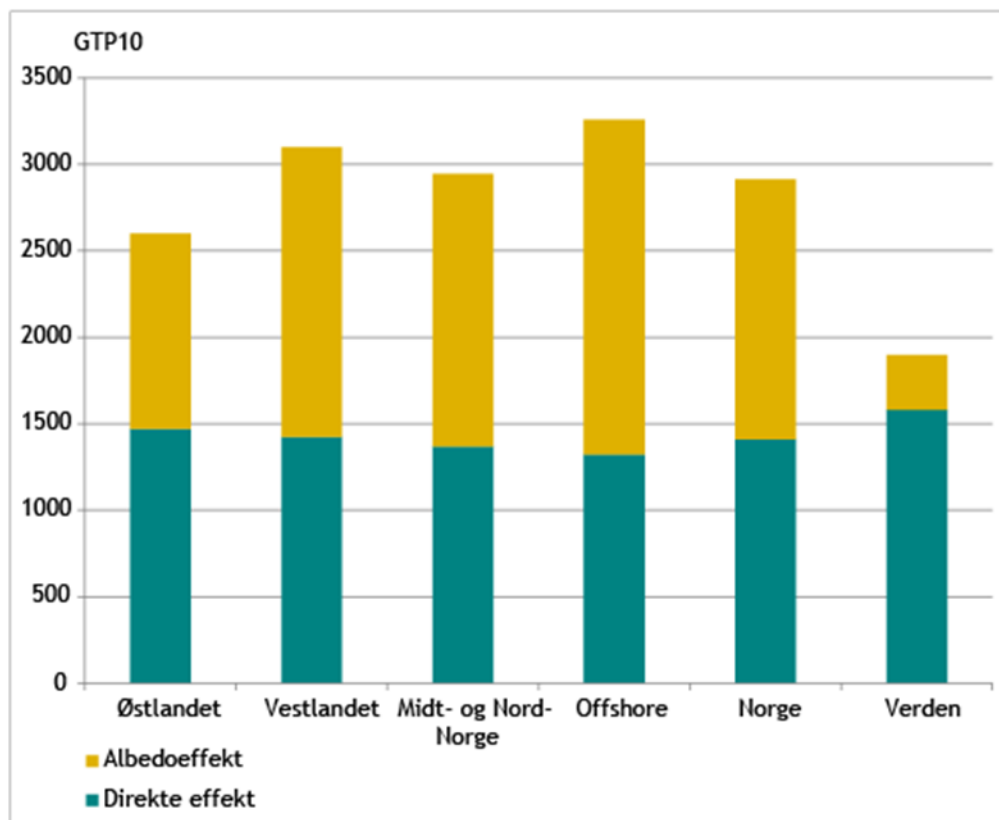
Det finnes ikke norske verdsettingsfaktorer for miljøeffekter (dvs. effekter på avling og skog) av kortlevde klimadrivere. Vi har derfor ikke kunnet verdsette miljøeffektene ved beregning av kostnadseffektiviteten. Ettersom miljøeffektene primært er knyttet til langtransportert ozon og ozonforløpere, anslår vi effekten til å være liten.

Andre usikkerheter

Det er videre usikkerhet forbundet med tiltakenes kostnader, teknologisk modenhet av flere lite utprøvde teknologier og hvorvidt virkemidler kan innrettes slik at det fulle tekniske reduksjonspotensialet hentes ut.

Vedlegg 12: Klimaeffekter av kortlevde klimadrivere fra ulike regioner i Norge

Figur V12.1 viser vekt faktoren (klimaeffekt per enhet utslipp) for utslipp av svart karbon i fire norske regioner, Norge og verden. Klimaeffekten er delt inn i to bidrag; den direkte atmosfæriske effekten og albedoeffekten på snø og is.

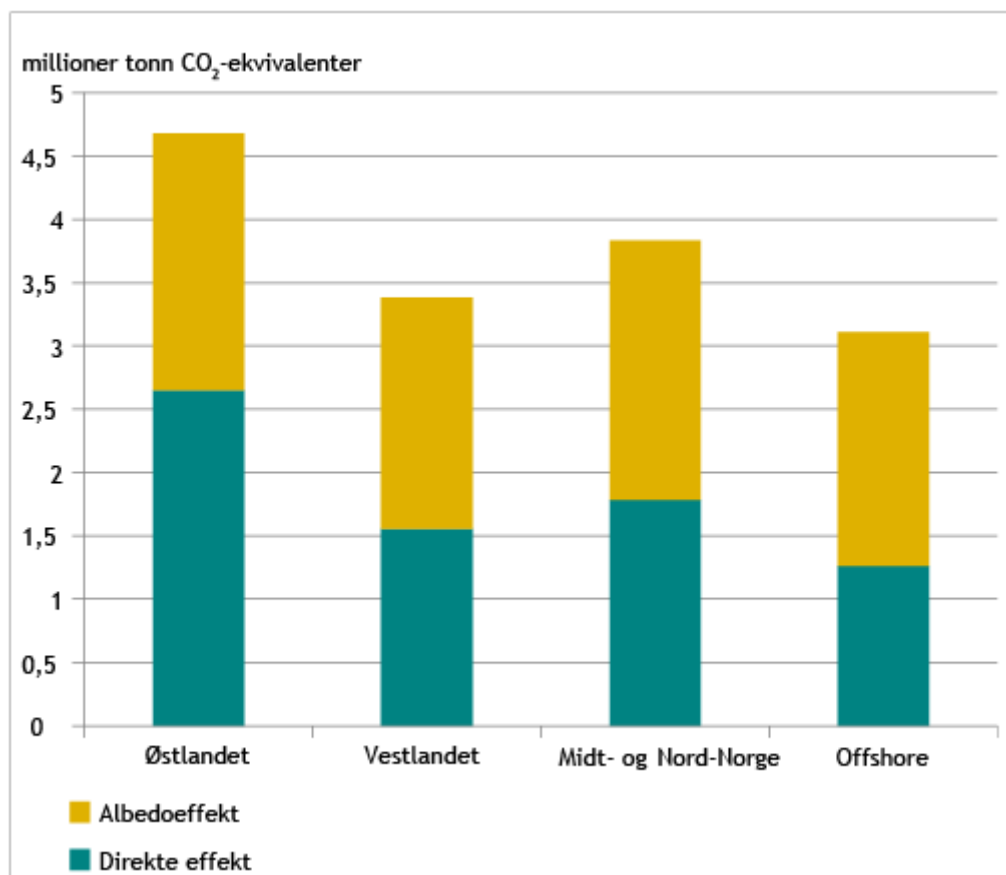


Figur V12.1: Vekt faktoren (klimaeffekt per utslippsenhet) for utslipp av svart karbon i fire norske regioner, Norge og verden. Vekt faktoren er inndelt i bidrag fra direkte effekt (atmosfærisk absorpsjon) og albedoeffekt på snø og is.

Figuren viser at det er mindre forskjeller mellom de ulike regionene. Et kg utslipp på Østlandet har den minste totaleffekten av svart karbon grunnet lavest albedoeffekt. Dette kan tyde på utslipp fra Østlandet blir transportert i mindre grad til Arktis. Dette kan skyldes mindre lavtrykksaktivitet på Østlandet. Flere lavtrykksepisoder og dermed sterk vind bidrar til mer effektiv transport av luftforurensninger i de andre regionene. Offshore-regionen har høyest albedo- og totaleffekt. Som beskrevet i kapittel 2.4 har utslipp av svart karbon i Norge en relativt større klimaeffekt enn globale utslipp per vektenhet.

Den totale klimaeffekten avhenger av størrelsen på utslippene og framkommer ikke av Figur 2.6.

Figur V12.2 viser klimaeffekt i millioner tonn CO₂-ekvivalenter (GTP10, Norge) for de fire regionene. Som i Figur V12.1 er klimaeffekten delt inn i to bidrag; den direkte atmosfæriske effekten (blå) og albedoeffekten på snø og is (gul).



Figur V12.2: Klimaeffekten for utslipp av svart karbon uttrykt i millioner tonn CO₂-ekvivalenter (GTP10) for fire norske regioner. Bidraget til klimaeffekten er inndelt i direkte effekt (atmosfærisk absorpsjon) og albedoeffekt på snø og is.

Figur V12.2 er lik som Figur V21.1 men er vektet med utslipp i hver av de fire regionene. Figuren viser derfor hva de faktiske utslippene i hver region betyr. Klimaeffekten av utslipp fra Østlandet er størst selv om klimaeffekten per vektenhet er minst for disse utslippene. Dette skyldes at utslippene er størst i denne regionen. Tilsvarende er Offshore, hvor utslippene har høyest klimaeffekt per vektenhet, den regionen med lavest klimaeffekt fordi utslippene relativt sett er lavest her.

Vedlegg 13: Andre tiltak

Tabell V13.1: Utrekede tiltak som overlapper og ikke er med i kostnadskurven

Sektor	Tiltak	Overlapper med	Primær komponent som reduseres	Gjennomsnittlig reduksjons-potensial i kilotonn per år i CO _{2e} (GTP10, Norge)
Oppvarming i husholdninger	Forsert utbytting av eldre vedovner (eldre enn 1998) til 100 % nye vedovner.	Forsert utbytting av eldre vedovner til 50 % vedovner og 50 % pellets-kaminer	BC, OC	233
	Forsert utbytting av eldre vedovner (eldre enn 1998) til 100 % pellets-kaminer	Forsert utbytting av eldre vedovner til 50 % vedovner og 50 % pellets-kaminer	BC, OC	404
HFK i produkter	Erstatte HFK-er med naturlige kuldemedier. Begrensede muligheter fordi en stor del av anleggene importeres og leveres bare med HFK.	Delvis overlappende med skifte til HFK-er med lavere klima-effekt	HFK-er	196

Tabell V13.2: Tiltak som er delvis utredet eller identifisert som reduksjonsmulighet

Sektor	Tiltak	Kommentar
Transport	Overgang til LNG som drivstoff i skip (fiskebåter og kystfartøy)	Forventes å ha en negativ klimaeffekt på kort sikt pga. økte metanutslipp og reduserte NO _x - og SO ₂ -utslipp
	Vann i drivstoff på skip (fiskebåter og kystfartøy)	Liten effekt, primært NO _x -tiltak
	Trafikkreduserende tiltak (veigående kjøretøy)	Primært CO ₂ -tiltak
	Scrubber på skip (fiskebåter og kystfartøy)	Hovedsakelig NO _x -tiltak, reduserer også SO ₂
HFK i produkter	Implementering av foreslått f-gassforordning	Revidert f-gassforordning med nedfasingsregime for HFK er til behandling. Flere endringsforslag foreligger. Ved utredningstidspunktet lå det an til at forslaget vil gi større reduksjoner enn de ikke-overlappende tiltakene vil resultere i.
Petroleum	Redusert fakling (offshore/landanlegg) - vil kutte BC, CH ₄ og nmVOC	Utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag
	Reduksjon av CH ₄ og nmVOC fra kaldventilering og diffuse utslipp (offshore og landanlegg)	Utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag
	Stasjonære kilder (offshore/landanlegg) - reduksjon av uforbrente hydrokarboner (metan og nmVOC)	Utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag
	Økt gjenvinning av nmVOC og metan ved lagring av råolje offshore	Utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag
	Lasting og lagring av råolje og produkter ved landanlegg - reduksjon av metan og nmVOC	Utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag
	Forbrenning av gass og olje over brennerbom - tiltak som reduserer BC, CH ₄ og nmVOC	Utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag
	Mobile rigger - bytte til LNG som drivstoff og vann i drivstoff	NO _x - og BC-reduserende tiltak. Utslipp av uforbrent metan og nmVOC - andelen vil avhenge av driftsbetingelser og motortype (motorgenerasjon). Vil variere. Indirekte effekt av aerosoler svært usikker. Konklusjon for klimaeffekt ikke tilstrekkelig robust?
	Økt gjenvinning av nmVOC og CH ₄ under transport av råolje på skip	Utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag Ikke med i utslippsregnskapet i dag, inngår ikke i referansebanen
Industri	Partikkelfilter som reduserer utslipp av BC fra stasjonær forbrenning i industrien. Det er nødvendig med mer kunnskap om	Utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag

Sektor	Tiltak	Kommentar
	rensepotensialet på utslippskildene fra stasjonær forbrenning i industrien for å dimensjonere tiltaket	
	Reduksjon i metanutslipp fra kullutvinning på Svalbard (om lag 1 % av norske metanutslipp i 2011). Tiltaket kan redusere utslippet av metan fra denne kilden ved å samle opp metan for å fikle eller energiutnytte gassen.	Utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag
	Redusert fakling og reduserte utslipp av svart karbon, metan og nmVOC innen oljeraffinering. Tiltaket er inkludert i Petroleumssektoren	Utilstrekkelig kunnskapsgrunnlag
	Energieffektivisering i næringsmiddelindustrien	Tiltaket ble utredet og viste seg å ha negativ klimaeffekt.

Tiltak som har blitt besluttet ikke utredet

Flere tiltak har også blitt vurdert, men av ulike grunner har det blitt besluttet ikke å utrede disse. Slike tiltak er omtalt i Sektorrapporten (Miljødirektoratet, 2013c).

Miljødirektoratet

Telefon: 03400/73 58 05 00 | **Faks:** 73 58 05 01

E-post: post@miljodir.no

Nett: www.miljodirektoratet.no

Post: Postboks 5672 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøksadresse Trondheim: Brattørkaia 15, 7010 Trondheim

Besøksadresse Oslo: Strømsveien 96, 0602 Oslo

Miljødirektoratets hovedoppgaver er å redusere klimagassutslipp, forvalte norsk natur og hindre forurensning.

Vi er underlagt Klima- og miljødepartementet og har mer enn 700 ansatte ved våre to kontorer i Trondheim og Oslo, og ved Statens naturoppsyn (SNO) sine mer enn 60 lokalkontor.

Våre viktigste funksjoner er å overvåke miljøtilstanden og formidle informasjon, være myndighetsutøver, styre og veilede regionalt og kommunalt nivå, samarbeide med berørte sektormyndigheter, være faglig rådgiver og bidra i internasjonalt miljøarbeid.