

Kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling



KOLOFON

Utførende institusjon

Miljødirektoratet

Oppdragstakers prosjektansvarlig

Miljødirektoratet

Kontaktperson i miljødirektoratet

Are Lindegaard

M-nummer

M229

År

2014

Sidetall

345

Miljødirektoratets kontraktnummer

[Kontraksnummer]

Utgiver

Miljødirektoratet

Prosjektet er finansiert av

[Prosjektet er finansiert av]

Forfatter(e)

Are Lindegaard, Andre Aasrud, Andreas Andersen, Stian Rein Andresen, Torgrim Asphjell, Ellen Bruzelius Backer, Kenneth Birkeli, Katja Ekroll, Helene Frigstad, Henrik Gade, Eilev Gjerald, Hege Haugland, Britta Maria Hoem, Nina Holmengen, Isabella Kasin, Hans Kolshus, Maria Malene Kvalevåg, Hanne Birgitte Laird, Christine Maass, Elisabeth Møyland, Hege Rooth Olbergsveen, Tone Sejnæs Pettersen, Simen Helgesen Ramberg, Bente Rikheim, Audun Rosland, Sissel Sandgrind, Odd Kristian Selboe, Svein Grotli Skogen, Fredrik Weidemann, Elin Økstad

Tittel - norsk og engelsk

Kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling

Sammendrag - summary

Rapporten er svar på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet om kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling. Vi har beskrevet viktige drivere for en lavutslippsutvikling, og utarbeidet sektorvise beskrivelser av Norge som lavutslippssamfunn, i lys av hva FNs klimapanelers femte hovedrapport sier er nødvendig av utslippsreduksjoner globalt for at man skal være i tråd med togradersmålet. Rapporten peker på hva som kan gjennomføres for å komme dit. Videre gir rapporten en gjennomgang av mulige tiltak som kan realiseres mot 2030. Tiltakene er fordelt i tiltakspakker basert på vurderinger av kostnader og gjennomførbarhet. Mulige energikonsekvenser av tiltakene er vurdert.

4 emneord

Lavutslippssamfunnet, klimaendringer, tiltaksanalyse, klimagassutslipp

4 subject words

Low carbon society, climate change, mitigation analysis, greenhouse gas emissions

Forsidefoto

Kim Abel, Naturarkivet

Sammendrag

Denne rapporten er Miljødirektoratets svar på fase 2 av oppdrag fra Klima- og miljødepartementet av 19. mars 2014 om kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling. Miljødirektoratet oversendte fase 1 av oppdraget til Klima- og miljødepartementet i rapporten *"Faglig grunnlag for videreutvikling av den nasjonale og internasjonale klimapolitikken."* (M-133) i mars 2014. Av oppdraget fremgår det at rapporten for fase 2 skal bidra med faglige innspill til Klima- og miljødepartementet til arbeidet med ny klimaforpliktelse for Norge og forsterkning av klimaforliket. Norge skal innen utgangen av første kvartal 2015 melde inn til FN et foreløpig mål for reduksjon av utslipp av klimagasser for perioden etter 2020, der aktuelle målår er 2025 og 2030. I oppdraget er vi bedt om å gi en faglig vurdering av Norge som lavutslippssamfunn i 2050 og legge fram utslippsbaner i tråd med lavutslippsnivå i 2050. Videre er vi bedt om å analysere ulike ambisjonsnivåer for 2025 og 2030, samt kostnader og konsekvenser av disse.

Vi har lagt til grunn at det fortsatt skal være økonomisk vekst i Norge, i tråd framskrivingene i Perspektivmeldingen 2013. Det vil si at vi ikke har sett på redusert økonomisk vekst som et tiltak for å redusere Norges klimagassutslipp. Vi har tatt utgangspunkt i dagens næringsstruktur, men beskrevet nødvendigheten av strukturelle tiltak og behovet for teknologisk utvikling. Befolkningens forbruksmønster vil kunne påvirke Norges framtidige utslippsnivå. Vi har til en viss grad sett på endret forbruk som tiltak innenfor enkelte sektorer, men vi har ikke gjort noen heldekkende analyse av effekten av endret forbruk. Ettersom oppdraget har vært å lage beslutningsgrunnlag for en ny norsk klimaforpliktelse, har hovedfokuset vært på hvordan vi kan redusere utslipp fra norsk territorium. Samtidig har vi satt nasjonale tiltak og virkemidler inn i en global og langsiktig sammenheng.

Vi har hatt snaue fem måneder til å besvare fase 2 av lavutslippsoppdraget. Tidsrammen har medført at vi har måttet legge noen begrensninger på omfanget av besvarelsen. Vi har i liten grad kunnet innhente ny informasjon eller utrede nye tiltak og har i stor grad basert oss på tilgjengelig og oppdatert informasjon. Miljødirektoratet har, så langt det har vært praktisk mulig, søkt å samarbeide med relevante etater og andre aktører for å sørge for at faktagrunnlaget i form av teknologivurderinger og tiltaksbeskrivelser er best mulig. Sluttproduktet står for Miljødirektoratets regning alene. Denne rapporten inneholder ikke forslag til politikk, men gir et faglig grunnlag.

Klimautfordringen

FNs klimapanel (IPCC) publiserer de ulike delene av sin femte hovedrapporten (AR5) i 2013 og 2014. Dette er den største og mest omfattende sammenstillingen av forskning om klimautfordringene noensinne. Sammenlignet med tidligere rapporter er AR5 mer entydig og sikker i konklusjonene om at klimaet er i endring og at det er "ekstremt sannsynlig (95–100 %)" at klimagassutslippene fra menneskelig aktivitet er hovedårsaken til temperaturendringene fra 1951 og fram til i dag. Målinger siden slutten av 1800-tallet viser at gjennomsnittstemperaturen i atmosfæren har økt med 0,85 grader Celsius fra 1880 til 2012. Hvert av de tre siste tiårene har vært varmere enn det foregående, og de tre siste tiårene har alle vært varmere enn noe tidligere tiår siden 1850.

FNs klimapanel viser at klimagassutslippene fortsatt øker, og i 2010 var globale utslipp av klimagasser på 49 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter mens de i 1970 var 27 milliarder tonn. Uten nye klimatiltak er vi i dag på vei mot en verden som kan bli 2,7 til 4,8 grader varmere enn den var i førindustriell tid og vi vil oppleve svært alvorlige virkninger som kan være irreversible. Dersom

temperaturøkningen blir stor, vil dette kunne føre til at det blir større skadevirkninger fra flom og erosjon i kystområder og antall mennesker som rammes av store elveflommer vil øke. I byer vil ekstrem nedbør og ras utgjøre en fare for bygninger, infrastruktur, liv og helse. Havisen i Arktis vil fortsette å minke i utbredelse og tynnes gjennom hele året. Isbreer og innlandsis i ulike deler av verden vil fortsette å miste masse. Det gjennomsnittlige havnivået kommer til å fortsette å stige. Havforsuringen vil fortsette å øke utover i dette århundret i takt med økende konsentrasjon av CO₂ i atmosfæren som igjen vil få konsekvenser for de marine økosystemene. Vi kan ikke tilpasse oss alle endringer i den verdenen vi er i ferd med å skape med dagens utslippsutvikling.

Status i arbeidet med å begrense klimaendringene

Gjennom internasjonale klimaforhandlinger har verdens ledere sluttet opp om et mål om ikke å øke den globale gjennomsnittstemperaturen med mer enn to grader ("togradersmålet"). FNs klimapanel sier at for å ha mer enn 66 prosent sjanse for å nå togradersmålet, må konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren begrenses til mellom 430 og 480 ppm CO₂-ekvivalenter, også referert til som 450 ppm scenarioet¹. Til forskjell fra IPCCs fjerde hovedrapport (IPCC, 2007) sier IPCCs femte hovedrapport mer om utslippsreduksjoner etter 2050 og frem mot 2100. Mange av klimamodellene som er benyttet har lagt inn muligheten for en kombinasjon av "overshoot" og negative nettutslipp. Det vil si at modellene tillater at konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren først overstiger 450 ppm grensen, og at dette kompenseres senere med netto negative globale utslipp mot slutten av århundret. Dette kan for eksempel skje gjennom omfattende kraftproduksjon basert på bioenergi, der CO₂ fra forbrenningen fanges og lagres (CCS) eller gjennom omfattende skogplantning.

En omfattende energiproduksjon basert på biomasse vil bety en svært utfordrende global omstilling som krever påskoging på store arealer, noe som kan komme i konflikt med blant annet matproduksjon i en verden hvor befolkningen øker. For å unngå slike arealkonflikter og være minst mulig avhengig av teknologi som per i dag ikke er moden, må utslippsutviklingen snus før 2030.

Det arbeides nå intenst med å komme frem til en ny internasjonal klimaavtale i Paris i 2015. Målet er en avtale som setter bindende utslippsforpliktelser for alle de største utslippslandene. En slik avtale vil kreve en viss grad av overnasjonale elementer og bestemmelser. Utfallet av forhandlingene er derimot høyst uvisst, og graden av overnasjonal struktur i en ny avtale er blant de mest omstridte punktene. En ny avtale som er politisk bindende, men ikke nødvendigvis juridisk eller folkerettslig bindende, kan være et mulig utfall. En slik type avtale er ofte beskrevet som en "nedenfra-og-opp" avtale og ville innebære at land legger på bordet et utslippsmål formulert gjennom egne interne prosesser. Dette står i motsetning til den "ovenfra-og-ned"-tilnærming som Kyotoprotokollen representerer. Det er også godt mulig at en ny avtale i Paris ikke vil reflektere et samlet ambisjonsnivå i tråd med et togradersmål. En ny avtale vil gjelde fra perioden etter 2020, men samtidig viser IPCC i sin femte hovedrapport at de internasjonale forpliktelsene frem til 2020, som det ble enighet om i Cancun i 2010, ikke er tilstrekkelig for å nå togradersmålet.

Positive globale trender

Til tross for at klimagassutslippene i verden fortsatt øker, og at det er uvisshet i klimaforhandlingene, er det noen trender som trekker i riktig retning. Disse må forsterkes dersom vi skal lykkes i å unngå de mest alvorlige konsekvensene av klimaendringene. Framdriften i klimaforhandlingene er avhengig av at noen land og regioner går foran og utvikler både klimapolitikk og klimaløsninger. Da kan andre kopiere politikk som virker etter hensikten og unngå politikk som

¹ Til sammenligning var konsentrasjonen i 2011 på 430 ppm CO₂-ekvivalenter (usikkerhet 340-520 ppm). Årsaken til at spennet er så stort er først og fremst usikkerhet i klimaeffekten av aerosoler.

ikke virker. Implementering av nye teknologier i noen land vil også kunne redusere kostnaden for teknologien betydelig og dermed gjøre det lettere for andre land å implementere de samme teknologiene.

Med sin **Energiewende** er Tyskland et foregangsland når det gjelder omlegging av kraftsystemet. I 2010 innførte Angela Merkels regjering ambisiøse målsetninger for andelen fornybar kraft i hvert tiår frem mot 2050: 40–45 prosent innen 2025, 55–60 prosent innen 2035 og minst 80 prosent fornybar kraftproduksjon innen 2050. Det viktigste tyske energivirkemiddelet har vært innmatingstariffer (feed-in tariffer). Resultatet er imponerende: 40 000 vindmøller og mer enn 1,4 millioner solanlegg ved utgangen av 2013. Storskala bygging av sol og vind har ført til at prisene på disse teknologiene er langt lavere enn for bare få år siden.

Det er mye som tyder på at vi står ovenfor et **transformativt skifte innenfor fornybar kraftproduksjon**. FNs klimapanel fremhever avkarbonisering av kraftsektoren som en avgjørende forutsetning for at togradersmålet kan realiseres. I 2013 var 22,1 prosent av den globale elektrisitetsproduksjonen fornybar; 16,4 prosent var fra vann, 2,9 prosent fra vind, 1,8 prosent fra biomasse, 0,7 prosent fra solceller (PV) og 0,4 prosent fra andre kilder som geotermisk og CSP (Concentrated Solar Power) (IEA, 2013). Andelen fra sol og vind er fortsatt liten, men veksten i installert kapasitet har vært langt større enn forventet. Prisen på solceller er halvert siden 2008. Amerikansk vindkapasitet er tredoblet siden 2008, og hadde i 2013 en samlet kapasitet tilsvarende 60 større atomkraftverk. I Kina var 68 prosent av kapasiteten som ble installert i 2013 fornybar. Mesteparten av dette var vannkraft, med vind og sol hakk i hel. Kina er i dag verdens største produsent av solceller og Bloomberg New Energy Finance forventer at innen 2020 vil mesteparten av ny installert kapasitet i Kina komme fra sol.

Tradisjonelt har kraftforsyningen vært dominert av store sentraliserte enheter (typisk et kullkraftverk) som har produsert strøm og distribuert den enveis til kundene. De sentraliserte kraftverkene suppleres nå i økende grad av småskala kraftproduksjon. Private husholdninger og bedrifter med solanlegg på taket produserer selv deler av sin kraft og selger samtidig strøm tilbake til nettet.

Elbiler nærmer seg bensin- og diesalbiler i funksjon og etterhvert også i pris. I følge det amerikanske energidepartementet er kostnadene på batteriene som selges i stor skala blitt halvert i løpet av de siste fire årene. Deres mål er å få batterikostnaden videre ned slik at elbiler med rekkevidde på 450 kilometer skal være like billige som standard bensin- og diesalbiler innen 2022. California har et mål om 1,5 millioner nullutslippsbiler på veiene innen 2025. Kineserne satser også på utslippsfrie biler. Myndighetenes mål er å ha 5 millioner lavutslippsbiler (el-, hydrogen- og hybridbiler) på kinesiske veier innen 2020. I sommer ble det bestemt at kjøpere av lavutslippsbiler skal slippe å betale innkjøpsavgiften, som er på 10 prosent av kjøpsprisen. Denne ordningen skal vare til utgangen av 2017². I tillegg tilbyr kinesiske myndigheter direkte subsidier til elbilkjøpere.

Et viktig utviklingstrekk de siste par årene har vært **finansverdenes økte fokus på klima- og karbonrisiko** samt at "grønne" investeringer blir stadig mer attraktive. Stadig flere investorer etterspør tydeligere og mer langsiktig klimapolitikk som kan redusere risikoen ved å investere i lavutslippsteknologi og infrastruktur. Et annet område som illustrerer skiftet i finansmarkedene er fremveksten av et marked for grønne obligasjoner. I 2013 utgjorde dette markedet i overkant av 10

² <http://www.theguardian.com/environment/2014/jul/10/china-exempts-electric-cars-from-tax>

milliarder dollar, mens det estimeres at markedet i 2014 vil være omtrent 50 milliarder dollar, samtidig som det utgjør en svært liten del av det totale markedet.

I Kina er luftkvalitetsproblemene så alvorlige at det er kommet på toppen av den politiske agendaen. Behovet for å redusere lokal luftforurensning er en av hovedbegrunnelsene for Kinas mål om å redusere kullforbruk og utslipp fra transportsektoren.

I USA har Obama-administrasjonen valgt å bruke luftforurensningsloven (*the Clean Air Act*) som virkemiddel for å gjennomføre innstramninger i utslipps- og effektivitetsstandardene for kjøretøyer og til å begrense utslippene fra kraftsektoren. 2. juni 2014 la **amerikanske forurensningsmyndigheter frem «the Clean Power Plan»** med forslag til nye regler for utslipp av CO₂ fra amerikansk kraftproduksjon. Målet med regelverket er å redusere utslipp fra kraftsektoren med 30 prosent i forhold til 2005-utslippene, innen 2030. I følge EPA tilsvarer dette utslippene fra 150 millioner biler.

Ambisiøs europeisk klimapolitikk

EU vedtok en omfattende klima- og energilovgivning i 2009. Fram mot 2050 skal EU redusere utslippene av klimagasser med 80-95 prosent sammenliknet med nivået i 1990. Minst 80 prosent skal tas som utslippsreduksjoner i EU, mens resten av intervallet kan dekkes gjennom bruk av fleksible mekanismer (finansiere utslippsreducerende tiltak i andre land). EU forbereder nå nye mål og virkemidler for perioden etter 2020. EU-kommisjonen la 3. mars 2014 fram et forslag om at EU skal redusere utslippene med 40 prosent innen 2030. I forslaget forutsettes det at 43 prosent av utslippskuttene tas i kvotepliktig sektor, mens 30 prosent tas i ikke-kvotepliktig sektor. Alle disse utslippsreduksjonene foreslås tatt i EU uten bruk av internasjonale kreditter. Det er foreslått å videreføre et felles mål for å fremme fornybar energi og energieffektivisering. Det forventes at beslutningen om overordnede mål tas på rådsmøte 23. - 24. oktober.

Tyskland har satt mål om å redusere sine utslipp av klimagasser med 40 prosent fra 1990 til 2020. Tysklands offisielle 2050-mål er å kutte klimagassutslippene med 80 til 95 prosent sammenliknet med 1990-nivået, og å øke andelen av elektrisitetsforbruk som kommer fra fornybare energikilder til 80 prosent. I tillegg skal energiforbruket halveres.

Storbritannia har satt som mål at utslippene av klimagasser skal reduseres med 80 prosent fra 1990 til 2050. Målet er forankret i en egen klimalov som blant annet forplikter regjeringen til å utarbeide karbonbudsjetter for framtidige 5-års perioder. Det fjerde og nyeste karbonbudsjettet gjelder for perioden 2023-2027 og innebærer at de britiske klimagassutslippene reduseres 50 prosent innen 2027 sammenliknet med 1990. Det åpnes for bruk av internasjonale kreditter i måloppnåelsen. I følge klimaloven skal det settes en grense for bruken av internasjonale kreditter senest 18 måneder forut for hver karbonbudsjettperiode.

I **Danmark** la regjeringen fram sin klimaplan i 2013. Hovedmålet er 40 prosent utslippskutt i perioden 1990–2020, som et bidrag til EUs langsiktige mål om 80-95 prosent kutt i 2050. Det er ikke formulert et spesifikt mål for utslippskutt for 2050, men hele Danmarks energiforsyning, inklusive transportenergiforbruket skal være dekket av fornybar energi i 2050. I tillegg spesifiseres det at Danmarks langsiktige mål er å bidra til EUs mål om 80-95 prosent utslippskutt innen 2050.

Sverige har en langsiktig "nettonull utslippsvisjon" fram mot 2050 og vil redusere utslippene i 2020 med 40 prosent sammenliknet med 1990. Bruken av internasjonale kreditter er ikke kvantifisert i den foreløpige underlagsrapporten for en 2050-strategi. Det svenske 2020-målet gjelder kun for den delen av økonomien som ikke er omfattet av EUs kvotesystem (om lag 30 prosent av Sveriges utslipp

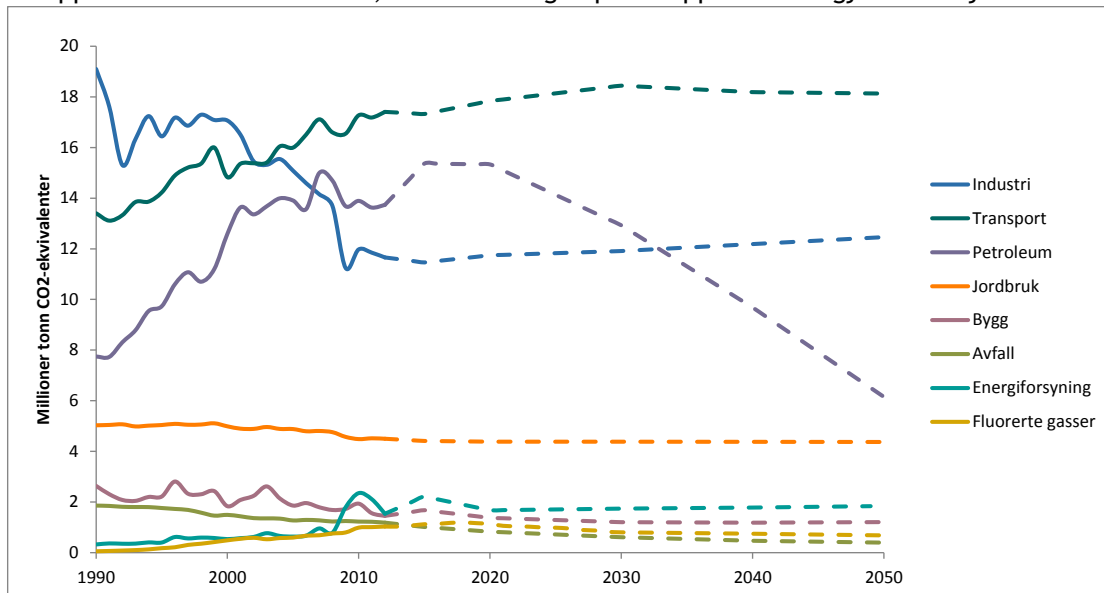
er kvotepliktige) og ekskluderer utslipp og opptak fra skog. Sverige har som ledd i sin politikk også angitt rammene for bruk av internasjonale karbonkreditter for å oppfylle målet (inntil 6,7 millioner tonn, tilsvarende en tredjedel av det samlede reduksjonsmålet, for 2020).

Utslippsutviklingen i Norge

Foreløpig utslippsregnskap for 2013 viser at de norske utslippene av klimagasser i 2013 var på 52,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Utslippene har økt med 4,6 prosent siden 1990, da utslippet var på 50,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Utslippsøkningen ville ha vært enda høyere uten de virkemidlene som har blitt innført siden 1990. I en rapport sendt til FNs Klimakonvensjon (Klima- og miljødepartementet, 2014) har utslippseffekten av en rekke tiltak og virkemidler blitt vurdert. Her ble det estimert at utslippene ville vært 12,6-15,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter høyere i 2010 dersom man ikke hadde innført klimatiltak og virkemidler.

Figur 0-1 viser historisk utslippsutvikling fra 1990 og framskrivninger av utslipp mot 2050 som er lagt til grunn i tiltaksanalysen, for hver av sektorene. Framskrivingene bygger på de nasjonale framskrivingene av utslipp til luft som ble publisert i Perspektivmeldingen 2013 (PM2013). Samlede utslipp samsvarer med PM2013, men fordelingen på utslippskilder er gjort av Miljødirektoratet.



Figur 0-1 Norges klimagassutslipp fordelt på utslippssektorer 1990–2050. Millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Det ble publisert nye framskrivninger fram til 2030 i forbindelse med statsbudsjettet for 2015. Disse ble utarbeidet parallelt med vår studie og vi har derfor ikke hatt mulighet til å ta hensyn til disse. De nye framskrivingene viser noe lavere utslipp i både 2020 og 2030 sammenliknet med Perspektivmeldingen 2013.

I følge vår framskriving forventes klimagassutslippene å øke med 1,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (opp til 54,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter) fra 2012 til 2020, for deretter å gå ned med 2,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter fram mot 2030. Videre reduseres de totale utslippene med 6,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (til 46,1 millioner tonn CO₂-ekvivalenter) fra 2030 til 2050. Hovedforklaringen til endringene er økningen i utslippene fra olje- og gassutvinning fram mot 2020 og deretter fallet i utslippene fra samme sektor mot 2050. Utslipp fra transport og industri øker noe fram mot 2050. Det er imidlertid stor usikkerhet omkring framskrivingene så langt frem i tid.

Hva blir effekten av klimaforliket i 2030?

I Miljødirektoratet sin rapport *Faglig grunnlag for videreutvikling av den nasjonale og internasjonale klimapolitikken* (M-133) publisert i mars 2014 ble det lagt til grunn at utslippene i 2020 må ned til 42-44 millioner tonn CO₂-ekvivalenter for å nå klimaforlikets mål, gitt at CO₂-opptak i skog er inkludert. Det ble videre antatt at Norge vil få godskrevet 3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter som følge av opptak av karbon i skog, slik at norske utslipp må reduseres til mellom 45 og 47 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2020, når skogtiltak ikke er inkludert.

Tiltakene som ble utredet i rapporten (M-133) ble anslått til å kunne gi en samlet utslippsreduksjon på mellom 4,9–8,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter sammenlignet med referansebanen for 2020. Rapporten konkluderte med at vi må oppnå utslippsreduksjoner som tilsvarer øvre del av det identifiserte potensialet for at det skal være overveiende sannsynlig at klimaforlikets mål nås. Dette vil kreve innføring av flere og sterkere virkemidler enn det vi har sett fram til i dag.

I denne rapporten, som er del II av oppdraget fra KLD, har vi gjort en overordnet vurdering av hvor store utslippsreduksjoner videreføring av tiltakene indentifisert i den forrige rapporten kan antas å gi mot 2030. Vår vurdering er at effekten av tiltakene som må til for å oppfylle klimaforliket vil holde seg nokså stabilt gjennom perioden, slik at utslippene blir i størrelsesorden 5-8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter lavere i 2030 enn de ville ha vært uten klimaforliket. I tillegg kommer det en reduksjon på om lag 2 millioner tonn mot 2030 som følge av forventet utvikling som allerede ligger inne i framskrivningene. Det forventes derfor at utslippsnivået i 2030 vil være på om lag 45 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030 dersom tiltakene som ble skissert for å nå klimaforlikets mål for 2020 blir gjennomført.

Dersom klimaforliket forsinkes et par år vil dette ikke nødvendigvis endre utslippsnivåene i 2030 betydelig, forutsatt at de fleste tiltakene gjennomføres så raskt som mulig. I transportsektoren øker man også potensialet for framtidige utslippskutt ved å starte tidlig, siden det er tidkrevende å utvikle og implementere ny teknologi og gjennomføre store infrastrukturtiltak. Det vil også være mindre krevende og kostbart å forsyne nye petroleumsinnretninger med kraft fra land fra oppstart, enn å elektrifisere innretningene i ettertid. Forsinkelse av klimaforliket vil øke de akkumulerte klimagassutslipp til atmosfæren.

Norge på vei mot lavutslippssamfunnet

Vår hovedtilnærming har vært å beskrive Norge som et lavutslippssamfunn der vi legger til grunn at verden også reduserer sine utslipp i tråd med togradersmålet. Vi nærmer oss dette spørsmålet dels fra et overordnet perspektiv, der vi tar utgangspunkt i hva FNs klimapanel sier er nødvendig for å unngå de mest alvorlige menneskeskapte klimaendringene. Samtidig har vi tilnærmet oss spørsmålet gjennom en analyse av alle sektorenes muligheter for å redusere utslipp fram mot 2050.

Dersom man legger til grunn FNs klimapanels utslippsbaner krever dette at utslipp per innbygger reduseres til mellom 1,5 til 3,1 tonn CO₂-ekvivalenter per innbygger som et verdensgjennomsnitt. Faktorer som økonomisk vekst, befolkningsvekst, næringsstruktur og internasjonal handel påvirker nivået på utslipp per innbygger mellom land og regioner. Slike faktorer er omtalt nærmere i kapittel 5.2.2.

Dersom Norge skal kutte utslippene i tråd med verdensgjennomsnittet innenfor togradersmålet på 1,5 til 3,1 tonn per innbygger, må utslippene ned fra dagens nivå på om lag 52,7 millioner tonn til mellom 10,2 - 20,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2050, gitt en befolkning på 6,6 millioner. Dette tilsvarer 60-80 prosent kutt i forhold til 1990-nivå for Norge.

Med dagens kunnskap er det innenfor sektorene jordbruk, industri og petroleum at det er knyttet størst usikkerhet til om utslippene kan bringes ned på svært lave nivåer i år 2050:

- Gitt dagens selvforsyningsgrad og med forventet befolkningsøkning, vil utslippet fra **jordbruket** kunne være i størrelsesorden 3-4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2050, etter at tiltak er gjennomført.
- Det er usikkerhet omkring nivået på utslippene fra **industrien** på grunn av behovet for utvikling av ny teknologi. Med teknologier for fangst og lagring av CO₂ eller andre teknologier som reduserer prosessutslippene tilsvarende vil det kunne være mulig å få utslippene ned til mellom 2 og 3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2050. Dette vil kreve en rekke langsiktige og målrettede FoU løp.
- Det er også knyttet usikkerhet til mulige utslippsnivå for **petroleumssektoren**, men her dreier det seg i større grad om kostnader (elektrifisering av eksisterende innretninger der man kan forvente lang levetid) enn utvikling av ny teknologi.

Med den teknologiutviklingen vi har sett de siste årene i transportsektoren, tror vi det vil være mulig å ha svært lave utslipp fra transportsektoren 35 år fram i tid. I de øvrige sektorene er det også sannsynlig at utslippene kan være svært lave i 2050.

I sum tilsier gjennomgangen at det er sannsynlig at det vil være mulig å redusere Norges utslipp i 2050 ned til om lag 7-12 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Gitt en befolkning på 6,6 millioner i 2050, gir dette et utslipp på om lag 1 til 2 tonn CO₂-ekvivalenter per innbygger.

Det vil være svært krevende for Norge å komme ned til slike utslippsnivåer uten at land rundt oss også fører en ambisiøs klimapolitikk. Vi er avhengig av blant annet kjøretøyteknologi og teknologier for karbonfangst og lagring som utvikles internasjonalt. På samme måte kan andre land dra fordel av vår globale innsats. Norge kan påvirke denne utviklingen, men ikke drive den alene. Samtidig vil en utsettelse av overgangen til et lavutslippssamfunn føre til at vi vil risikere å bli innelåst med utslipp som det vil bli krevende å bli kvitt når de først er der. Eksempler på hvordan man kan unngå slik innelåsing kan være å forsyne nye innretninger i petroleumssektoren med kraft fra land. Et annet eksempel kan være å bygge infrastruktur som veier og bygninger på en måte som reduserer transportbehovet på lang sikt. Videre tar utskifting av kjøretøyparken tid, for eksempel er gjennomsnittlig levealder for personbiler i Norge 18,4 år. Det vil si at hvis vi skal lykkes i å ha en tilnærmet utslippsfri personbilpark i 2050, så må den siste bensin- eller dieselbilen bli solgt i 2031.

I sektoren for skog og andre landarealer vil man, dersom man gjennomfører de tiltakene som er kvantifisert i denne rapporten, kunne få et høyere netto opptak av klimagasser på ca. 3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år i 2050, sammenlignet med framskrivingene. Framskrivningene på skog og andre landarealer viser et forventet nettoopptak på om lag 16 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2050 som følge av tidligere aktiv skogforvaltning.

Mulige utslippsnivåer i 2030

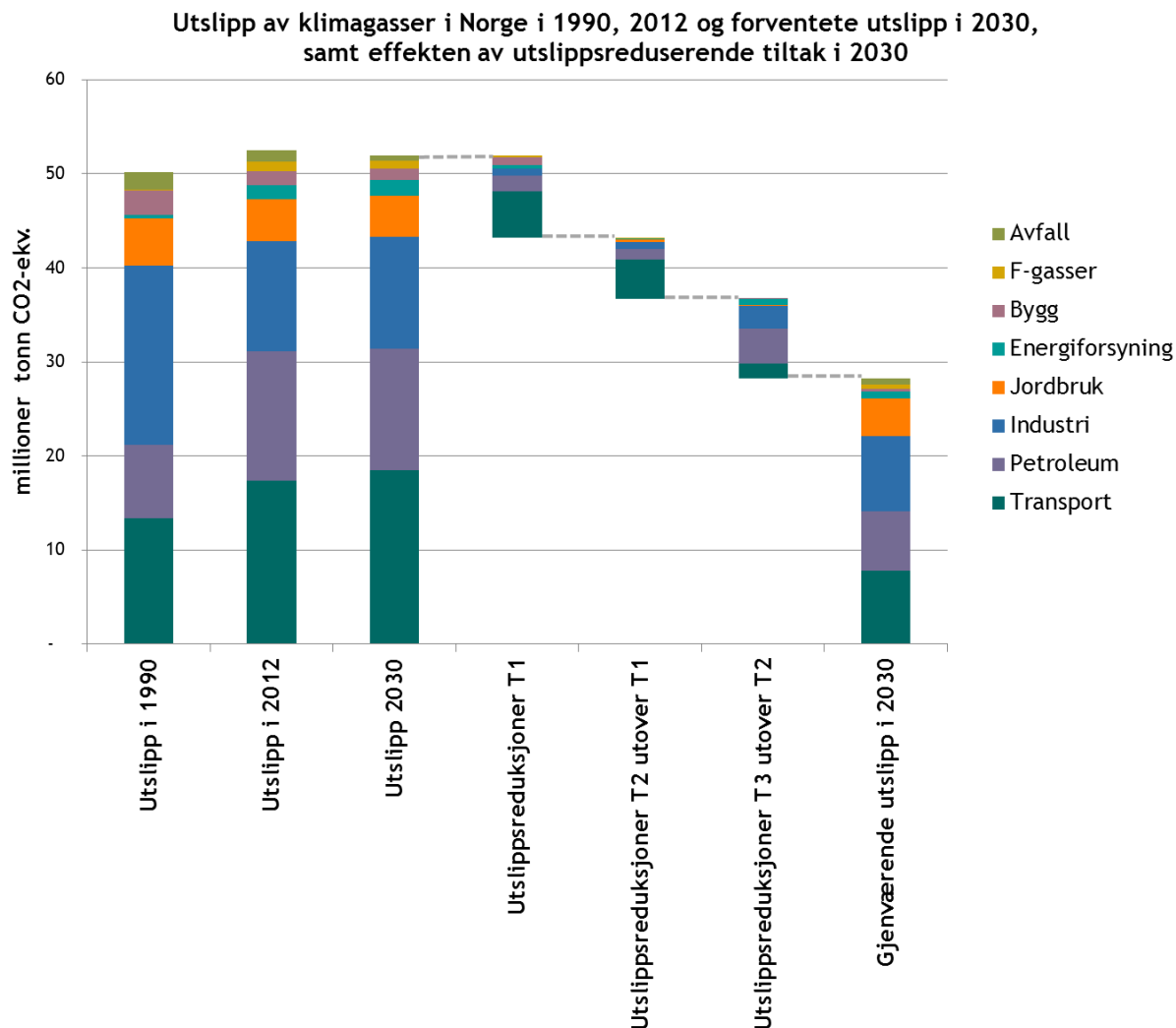
For å vurdere mulige utslippsnivåer i 2030 har vi gjennomgått mange utslippsreducerende tiltak i de ulike sektorene. Innenfor alle sektorer er tiltakene vurdert etter antatt kostnadseffektivitet og gjennomførbarhet. Vurderingene er basert på allerede tilgjengelig og til dels oppdatert informasjon, da det i liten grad har vært tid til å utrede nye tiltak i forbindelse med denne rapporten. På grunn av høy usikkerhet i kostnadsberegningene har vi valgt å dele tiltakene inn i ulike kostnadsgrupper istedenfor å oppgi konkrete tiltakskostnader; tiltakskostnader under 500 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter, tiltakskostnader fra 500 - 1500 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter og over 1500 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter. Tiltakenes gjennomførbarhet er vurdert på skalaen

forholdsvis enkelt, middels krevende eller krevende. Dette er en skjønnsmessig inndeling. Vurderingen er basert på:

- Tiltakets teknologimodenhet
- Hvorvidt det finnes, eller kan iverksettes et egnet virkemiddel (virkemidler) for å få utløst tiltaket. Det virkemidlet som er best egnet vurderes etter:
 - Grad av styringseffektivitet - Hvor sikre er vi på at virkemiddelet vil utløse tiltak og utslippsreduksjoner som anslått?
 - Fordelingsvirkninger - Er det slik at noen grupper rammes ekstra hardt, eller fordeles kostnadene på mange (for eksempel over statsbudsjettet)?
 - Administrative kostnader ved virkemiddelet - For eksempel vil detaljerte enkeltreguleringer av mange små utslippskilder ha høye administrative kostnader (utover tiltakskostnadene).

Det kan også være andre grunner til at tiltak er vanskelige å gjennomføre. I Klimakur ble mange av tiltakene utredet med skille mellom samfunnsøkonomisk og bedrifts-/privatøkonomisk kostnad, fordi tiltak med lav samfunnsøkonomisk kostnad kan ha høy privatøkonomisk kostnad og dermed krever sterke virkemidler for å bli utløst. Innenfor tidsrammen på dette prosjektet har vi ikke hatt mulighet til å utrede slike kostnader, slik at det er vanskelig å vurdere om det er høye privat-/bedriftsøkonomiske kostnader som er barrieren for gjennomføring av tiltakene. Andre mulige grunner til at tiltak er vanskelig gjennomførbare er målkonflikter med andre politiske mål eller at det er store prosjekter som forutsetter samhandling mellom ulike aktører, som for eksempel kan være tilfellet ved områdeelektrifisering i petroleumssektoren eller ved overføring av godstransport fra vei til bane og sjø.

Basert på vurderingene av kostnader og gjennomførbarhet, er det satt sammen tre tiltakspakker. Disse er presentert i figuren nedenfor. Tiltakspakke 1 inneholder i hovedsak tiltak med antatt tiltakskostnad < 500 kroner per tonn CO₂-ekvivalent og som samtidig er vurdert som forholdsvis enkle å gjennomføre. Tiltakspakke 2 inkluderer i tillegg tiltak gruppert i middels kostnadskategori og middels krevende å gjennomføre. Tiltakspakke 3 inkluderer nesten alle utredede tiltak. Figuren viser utslippsreduksjoner for de tre nivåene i antall tonn CO₂-ekvivalenter. Det er justert for overlapp mellom tiltakenes effekt. Beregninger av framtidige utslippsnivåer bygger på dagens utslippsframskrivninger.



Figur 0-2 Utslippsreduksjoner ved ulike tiltakspakker.

Tiltakspakke 1 er, med dagens forventninger om utslippsutvikling, beregnet å redusere utslippene ned til om lag 43,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Dette tilsvarer en reduksjon på om lag 14 prosent i forhold til 1990-nivå. De største utslippsreduksjonene finner sted i transportsektoren. Eksempler på tiltak som må gjennomføres er nullvekst for personbiltransport i de store byene, overføring av 5 prosent gods fra veg til bane, økt innfasing av el- og hydrogenkjøretøy, samt 10 prosent biodrivstoff i veigående transport og skip. Eksempler på tiltak i petroleumssektoren er økt energieffektivisering, redusert fakling og elektrifisering av nye innretninger med korte avstander fra land. I industrien er det lagt til grunn konvertering fra fossile til fornybare brensler og prosessforbedringer i aluminiumsindustrien.

Tiltakspakke 2 er beregnet å redusere utslippene ned til om lag 37 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Dette tilsvarer en reduksjon på om lag 26 prosent i forhold til 1990-nivå. Eksempler på tiltak som må gjennomføres i transportsektoren for å oppnå denne utslippsreduksjonen er nullvekst i personbilkilometer i hele landet, overføring av 10 prosent gods fra vei til bane, rask innfasing av nullutslippsteknologi for veigående kjøretøy, 20 prosent biodrivstoff til vei-transport og skip og 10 prosent biodrivstoff til andre mobile kilder og innenriks fly. Eksempler på tiltak i petroleumssektoren er elektrifisering av nye innretninger hvor avstanden til land er lengre enn i nivå 1. I industrien er det lagt til grunn at en svært stor andel av fossile brensler til stasjonær

forbrenning opphører i bransjer hvor denne konverteringen kan skje med kjent teknologi, og uten at utslippene øker et annet sted. Det er også lagt inn to tiltak som går på overgang fra fossile til fornybare reduksjonsmidler i metallindustrien.

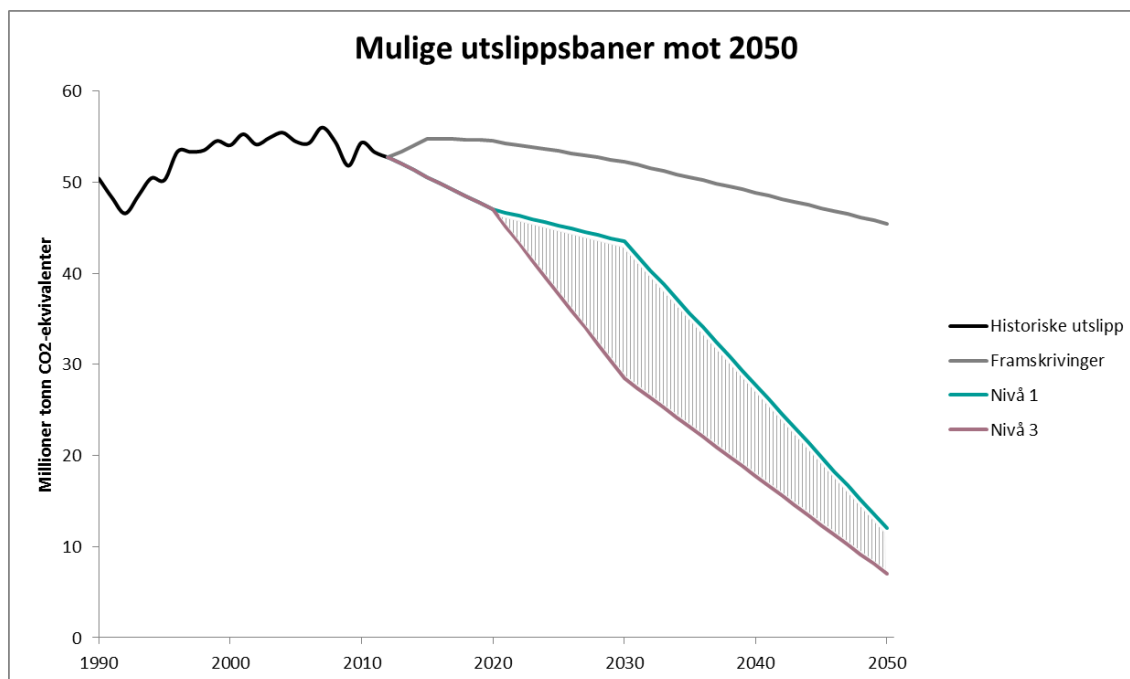
Tiltakspakke 3 er beregnet å redusere utslippene ned til om lag 28,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Dette tilsvarer en reduksjon på om lag 43 prosent i forhold til 1990-nivå. Eksempler på tiltak som må gjennomføres for å oppnå en slik utslippsreduksjon er blant annet 10 prosent reduksjon av personbilkilometer, overføring av 20 prosent av gods fra veg til bane, 40 prosent biodrivstoff i veigående transport og skip og 20 prosent biodrivstoff i andre mobile kilder og innenriks flyvninger. Eksempler på tiltak i petroleumssektoren er deelektrifisering av områdene Norskehavet og Nordlige Nordsjø. I industrien er det lagt til grunn tre prosjekter som inkluderer CO₂-fangst og lagring, samt overgang til biogass i metallindustrien og videre konvertering og effektivisering i raffinerier.

Om det kommer teknologiske gjennombrudd, for eksempel knyttet til bruk av inerte anoder i aluminiumsindustrien, eller andre teknologier som kan redusere prosessutslippene fra industrien, vil dette gjøre det mulig å redusere utslippene fra industrien i alle nivåer ytterligere i 2030. Slike gjennombrudd kan imidlertid ikke planlegges.

Mulige utslippsbaner mot 2050

Utslippsbaner uten opptak av karbon fra skog og andre landarealer

Figuren nedenfor illustrerer mulige utslippsbaner fra 1990, via 2020 og 2030 og til 2050. I figuren er dette vist med utgangspunkt i at målet i klimaforliket oppnås innen 2020. Den sorte linjen representerer historiske utslipp. Den grå linjen representerer utslippsframskrivingene som er lagt til grunn for denne analysen. Den blå linjen representerer en lineær utslippsreduksjon fra utslippsnivået som følger av klimaforliket i 2020, til utslippsnivået som følger av tiltakspakke nivå 1 i 2030. Tilsvarende representerer den røde linjen en lineær utslippsreduksjon fra utslippsnivået som følger av klimaforliket i 2020, til utslippsnivået som følger av tiltakspakke 3 i 2030. Mot 2050 er linjene strukket videre ned til et mulig utslippsintervall for Norge som lavutslippssamfunn i 2050, under forutsetning av at landene rundt oss også gjennomfører en ambisiøs klimapolitikk. Det er ikke slik at linjene vil være glatte i praksis, men utslippsreduksjoner vil komme mer som trappetrinn som følge av at større tiltak som for eksempel CCS ved et industrianlegg gjennomføres. Det er ikke mulig å fastslå nøyaktig når slike tiltak vil komme.



Figur 0-3 Mulige utslippsbaner fra 1990 til 2050.

Tiltakene som ligger inne i tiltakspakke 1 er beregnet å bringe utslippene ned til om lag 43,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Som forklart ovenfor forventes det at utslippsnivået i 2030 vil være på om lag 45 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030 dersom tiltakene som ble skissert for å nå klimaforlikets mål for 2020 blir gjennomført. Tiltakspakke 1 gir imidlertid ingen garanti for at klimaforlikets mål nås i 2020, dette avhenger av innfasingstakten. I rapporten *Faglig grunnlag for videreutvikling av den nasjonale og internasjonale klimapolitikken* (Miljødirektoratet, 2014b) ble det lagt til grunn gjennomføring av CO₂-fangst og lagring i industrien, samt overgang til biokull i ferrolegeringsindustrien for å nå klimaforlikets mål i 2020. Disse tiltakene er ikke inkludert i nivå 1 tiltakene, men nivå 1 inneholder til gjengjeld større utslippsreduksjoner i transportsektoren fordi man da har 10 år lenger tid til å innfase tiltak.

Tiltaksnivå 1 i 2030 kan bety en viss risiko for innlåsing av framtidig utslipp, kanskje først og fremst i transportsektoren der innfasing av nullutslippskjøretøyer og tilrettelegging for et lavere transportvolum tar tid.

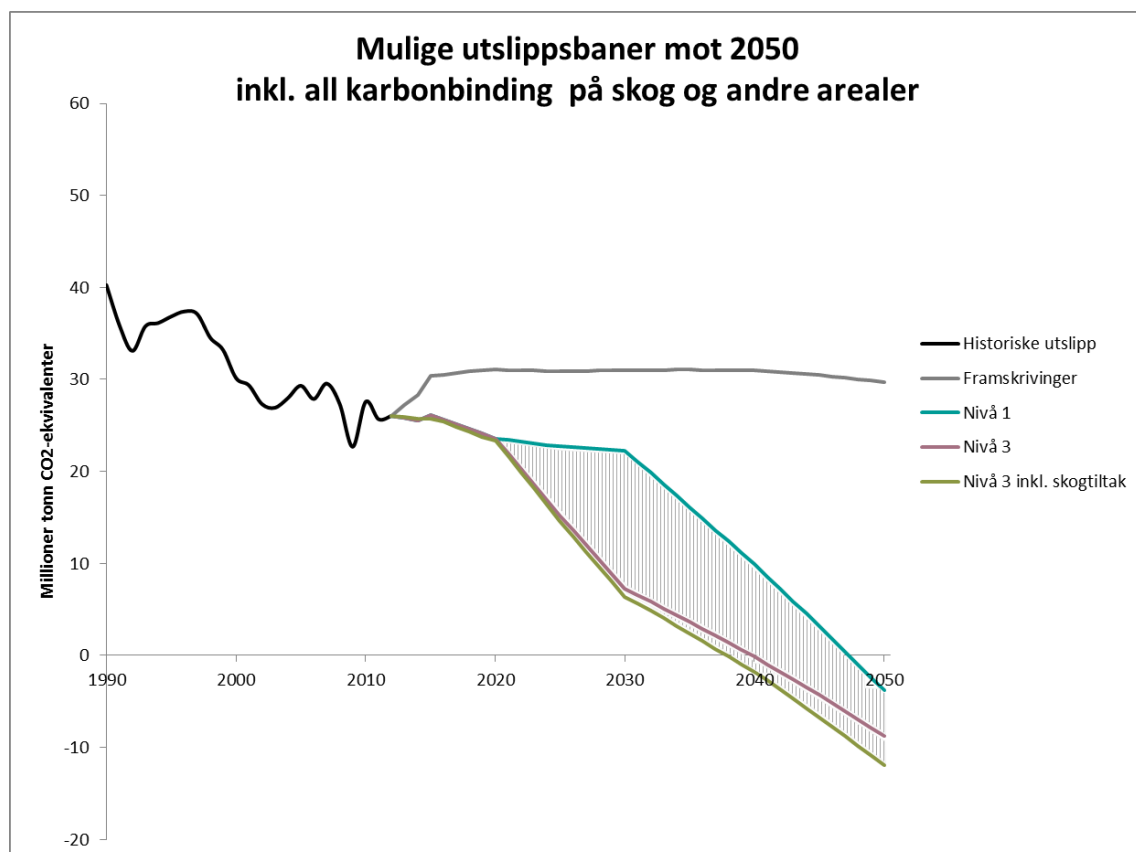
Tiltakene som ligger inne i nivå 3 forventes å gi en utslippsreduksjon på om lag 43 prosent i forhold til 1990-nivå i 2030, altså litt i overkant av EU-kommisjonens forslag om 40 prosent kutt i forhold til 1990-nivå for hele regionen. Dette illustrerer at dersom Norge skal legge seg på samme ambisjonsnivå som EU, så vil det være nødvendig å gjennomføre tiltak som både er krevende å gjennomføre og dyre. En viktig forklaringsfaktor for at det er mer krevende for Norge å gjennomføre utslippskutt på nivå med EUs målsetning er at mens EU har redusert sine utslipp av klimagasser med 19,2 prosent i perioden 1990-2012, har Norge økt sine utslipp med 4,6 prosent i samme periode. En av årsakene til dette er at befolkningstallet i Norge har økt med 21 prosent fra 1990-2014, mens befolkningen i EU bare økte med 7 prosent. Mange av de billigste tiltakene i EU-landene vil være å fase ut fossil kraftproduksjon med fornybar. Denne muligheten har ikke Norge, ettersom vi allerede har en tilnærmet utslippsfri kraftproduksjon. Et utslippsmål for EU som helhet gir i tillegg større fleksibilitet i tiltaksgjennomføringen enn et nasjonalt utslippsmål for Norge. Det må også presiseres at vi har vurdert tiltakene partielt og at det vil kunne oppstå kapasitetsproblemer i økonomien dersom mange av de store teknologitiltakene skal gjennomføres på kort tid.

Utslippsnivået i Norge som et lavutslippssamfunn er grovt anslått til mellom 7-12 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2050. Dette forutsetter teknologiutvikling både i Norge og resten av verden. Hvis man ligger på nivå 1 i 2030 vil dette kreve utslippsreduksjoner på nesten 4 prosent per år i perioden mellom 2030 og 2050 for å komme ned på et utslippsnivå på middelveiden av det anslåtte intervallet for 2050.

Utslippsbaner med opptak av karbon fra skog og andre landarealer

For å unngå farlige klimaendringer er det sentralt å begrense utslippene av klimagasser. I en helhetlig tilnærming til lavutslippssamfunnet bør alle sektorer inngå. Det er derfor nyttig å illustrere utviklingen dersom man også tar med sektoren for skog og andre landarealer. Skog og andre landarealer har et årlig nettoopptak av CO₂ i Norge. Dette gjør sektoren forskjellig fra de andre sektorene i Norge. Dersom opptaket inkluderes i referansebanen har vi et lavere samlet nettoutslipp; rundt 40 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 1990. Nettoutslipp i 2050 vil være rundt 30 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Framskrivningen i figuren nedenfor viser totalt netto utslipp fra Norge for alle sektorer, inkludert skog og andre landarealer.

Det er viktig å presisere at tallene som presenteres her inkluderer hele netto-opptaket i sektoren skog og andre landarealer. Under Kyotoprotokollen har man kun hatt anledning til å bokføre en liten andel av alle utslipp og opptak fra sektoren skog og andre landarealer. Det er uvisst hvordan sektoren vil inkluderes i en klimaavtale post-2020.



Figur 0-4 Mulige utslippsbaner mot 2050 inkludert alle utslipp og opptak i sektoren "skog og andre landarealer" (LULUCF), dvs. uten de begrensninger som dagens bokføringsregler under Kyotoprotokollen angir.

Figuren viser at ved å inkludere opptaket i skog og andre landarealer, vil vi kunne ha negative utslipp rundt år 2045, dersom vi i tillegg implementerer alle tiltakene for å redusere utslipp tilsvarende tiltakspakke 1. Implementerer vi tiltakene i tiltakspakke 3 i tillegg til skogtiltakene, vil

vi ha negative utslipp allerede før 2040. Dersom vi ikke implementerer noen tiltak som reduserer utslipp, men bare implementerer tiltak i sektoren for skog og andre landarealer, vil Norges utslipp ligge på cirka 30 millioner tonn CO₂-ekvivalenter også i 2050.

For å sikre overgangen til et lavutslippssamfunn bør opptaket i skog og andre landarealer komme i tillegg til, og ikke til erstatning for, utslippsreduksjoner i andre sektorer.

Energikonsekvenser

Norsk kraftforsyning er i dag basert på en stor andel fornybar energi. Samtidig har vi et generelt høyt energiforbruk som inkluderer betydelige mengder fossil energi. Norge har et stort naturgitt potensial for ytterligere fornybar produksjon. Dette gir muligheter både innenlands og knyttet til utveksling med andre land.

Vi har sett på energikonsekvenser som følge av overgangen til lavutslippssamfunnet slik det ellers er beskrevet i denne rapporten. Oppsummert har vi kommet til følgende:

Elektrisk kraft: Tiltakspakkene vi har utredet gir fra ingen til moderat økt etterspørsel etter elektrisitet mot 2030. Etterspørselen vil avhenge av ambisjonsnivået i sektorene med betydelig fossil energibruk, særlig i transport- og petroleumssektoren, og av i hvilken grad det gjennomføres effektiviseringstiltak. Både industri- og byggsektoren har et stort effektiviseringspotensial som kan kompensere for økt etterspørsel etter elektrisitet. Energieffektivisering er også viktig fordi all energiproduksjon har miljøkonsekvenser. Potensialet for ny produksjon av fornybar kraft i Norge er stort sammenliknet med etterspørselskonsekvensene av våre tiltak mot 2030.

Mot 2050 kan en økende andel nullutslippskjøretøy gi økt etterspørsel etter elektrisitet, særlig hvis hydrogen får stort gjennomslag som drivstoff. I industrien vil ytterligere konvertering fra fossil energi til elektrisitet tilsi større etterspørsel. I petroleumssektoren forventes det en noe lavere energietterspørsel i 2050 sammenliknet med 2030.

Bioenergi: Tiltakspakkene vi har utredet gir en moderat til betydelig økning i etterspørsel etter bioenergi mot 2030. Økningen ser ut til å være innenfor de teoretiske potensialene for produksjon av bioenergi i Norge. Samtidig vil bruk av biomasse til energiformål kreve avveininger mot alternative bruksområder for biomasse som for eksempel trematerialer eller som reduksjonsmidler i industrien. I hvilken grad økt bruk av bioenergi påvirker naturmangfold, landskap og friluftsliv avhenger først og fremst av hvilke biomasseressurser som benyttes og i hvilket omfang.

Mot 2050 kan etterspørselen etter bioenergi øke. Dersom det viser seg at avansert biodrivstoff blir dominerende i transportsektorene vil dette kreve betydelige biomasseressurser. Tilsvarende kan biomasse brukt som energi eller råstoff bli mer etterspurt i industrien, for eksempel i produksjon av biobaserte kjemikalier og bioplast. Bioraffinerier forventes å kunne levere biobaserte produkter med en svært høy utnyttelse av biomassen. Andre biomasseressurser kan også bli gjort tilgjengelig mot 2050, slik som alger.

Kostnader

Det er svært krevende å anslå hva kostnadene for de enkelte tiltakene vil være. Spesielt er det krevende å estimere den totale kostnaden for Norge for ulike nivåer av utslippsreduksjoner i et så langt tidsperspektiv. Det vil være svært usikkert hvilke teknologier som får gjennombrudd og når dette skjer. For eksempel vil det ha stor betydning for kostnadene hvor rask teknologiutviklingen blir for nullutslippsbiler, som elbiler og hydrogenbiler, og når disse kan konkurrere med bensin- og dieslbiler. For andre typer tiltak er det mindre usikkerhet om hva som er nødvendig for å nå

togradersmålet, for eksempel bygging av infrastruktur som kan legge til rette for økt andel sykling eller mer offentlig kommunikasjon. Endringene som kreves er så omfattende at de verktøyene vi har innen samfunnsøkonomisk analyse har begrensninger. Vi har derfor valgt å plassere de ulike tiltakene i kostnadskategorier for å synliggjøre den store usikkerheten i estimatene.

Tabellen nedenfor viser hvordan tiltakene er fordelt på de tre kostnadsklassene for hver sektor. Utslippsreduksjon er angitt i tonn CO₂-ekvivalenter utslippsreduksjon i forhold til referansebanen i 2030.

Tabell 0-1 Oversikt over utslippsreduksjoner per kostnadskategori i tiltakspakke 3. Utslippsreduksjonene er i tonn CO₂-ekvivalenter i forhold til utslippene i referansebanen for 2030.

Sektor	Under 500 kr/tonn	500-1500 kr/tonn	>1500 kr/tonn
Transport	2 870 000	2 470 000	5 350 000
Petroleum	1 675 000	1 075 000	3 803 000
Industri	1 100 000	1 135 000	1 620 000
Jordbruk	228 000	183 000	-
Energiforsyning	270 000	110 000	620 000
F-gasser	190 000	95 000	-
Bygg	880 000	20 000	20 000
Avfall*	-	-	-
Totalt	7 213 000	5 088 000	11 413 000

* Effekten av tiltak og virkemidler i avfallssektoren er ført i sektoren der tiltakene gir utslippsreduksjon.

Tabell 0-1 oppsummerer de sektorvise tiltaksvurderingene og viser fordelingen av utslippsreduksjoner i tonn i 2030 for hver kostnadskategori i tiltakspakke 3 (som inneholder alle tiltakene). Resultatene indikerer at vi kan oppnå utslippsreduksjoner på omkring 7 millioner tonn fram mot 2030 til en tiltakskostnad på under 500 kroner per tonn og ytterligere 5 millioner tonn til en kostnad på inntil 1500 kroner per tonn. Totalt ser det altså ut til at man kan oppnå over 12 millioner tonn reduksjoner til en tiltakskostnad på under 1500 kr per tonn. De resterende utslippsreduksjonene, på omkring 11 millioner tonn, er vurdert å ha kostnader over 1500 kroner per tonn.

For transportsektoren gir ikke Tabell 0-1 et fullstendig bilde, fordi bare tiltakspakke 3 beskrives. I denne sektoren er det en større andel av tiltakene som er forventet å være i den laveste kostnadskategorien i de to andre tiltakspakkene (T1 og T2). Tiltakspakke 1, der tiltakene er vurdert til å ha en kostnad på under 500 kr/tonn CO₂-ekvivalenter, er anslått til å gi en utslippsreduksjon på cirka 5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Dette er illustrert i Figur 0-2.

Hvor kan Norge gjøre en forskjell?

Tidligere i sammendraget har vi pekt på de positive trendene som er viktige i et globalt perspektiv. Felles for dem alle er at myndigheter viser retning og er støttespillere for teknologiutvikling og innfasing av nye teknologier. Vi har i de ulike sektorvurderingene pekt på områder der Norge kan spille en rolle i den globale dugnaden som må til - og samtidig legge til rette for norske utslippsreduksjoner og et framtidsrettet næringsliv. Nedenfor fremheves noen områder som vi mener vil være sentrale. Selv om mange av disse strategiene må utvikles over tid, er det viktig å starte omstilling og omlegging nå.

Storskala elektrifisering av transportmidlene

Avkarbonisering av transportsektoren er av stor betydning for utslippsnivået i 2030 og 2050. Her har vi vært et foregangsland med virkemidler som har stimulert markedsintroduksjonen av elektriske biler og utvikling av ladestasjoner. Det er viktig å fortsette denne satsingen på kjøretøy med lave utslipp ved å videreføre virkemidlene og utvide satsingen til å inkludere flere kjøretøytyper enn personbiler (lastebiler, busser, anleggsmaskiner, traktorer, skip og ferger). Fordi utskiftingen av kjøretøyparken tar tid er det viktig å starte overgangen til nullutslipps-kjøretøy så tidlig som mulig: Eksempelvis må 100 prosent av nybilsalget av personbiler være nullutslippsbiler innen 2030 dersom personbilparken skal kunne bli utslippsfri i 2050.

Bygge framtidens byer og tettsteder

De mange små og store beslutningene ved ulike infrastrukturinvesteringer må trekke i samme retning, både i privat og offentlig sektor. Dette gjelder for eksempel beslutninger knyttet til etablering av nye næringsbygg, kjøpesenter og nye boligområder. Byggene må være energieffektive og ikke minst plasseres slik at transportbehovet blir minimalt. Storstilt utbygging av infrastruktur for kollektivtransport i og rundt de tettest befolkede områdene er nødvendig for å legge til rett for økt bruk av bane, tog og busser - samt mer sykkel og gange.

Styrke areal- og transportplanleggingen

På veien mot lavutslipp kreves det omstilling og bidrag fra mange aktører, og blant disse står norske kommuner i en særstilling. I kraft av å være planmyndighet, eier av infrastruktur og bygninger, innkjøper av varer og tjenester og lokal koordinator har kommunene en nøkkelrolle knyttet til mange viktige utfordringer for å redusere utslipp av klimagasser. Det er spesielt rollen som planmyndighet som gir kommunen mulighet til å påvirke samfunnsutviklingen på sentrale områder. Plasseringen av servicetilbud, boliger, arbeidsplasser og infrastruktur i forhold til hverandre legger også sterke føringer for hvordan transportbehovet kan dekkes, og dermed for det lokale utslippsnivået. Det er ikke mulig å se for seg at transportbehovet kan reduseres og bilavhengigheten går ned uten at klimahensyn tillegges vesentlig større vekt i areal- og transportplanlegging.

Karbonfangst og lagring (CCS)

Vår rapport viser at CCS antagelig blir avgjørende for å redusere norske industriutslipp fra for eksempel produksjon av sement, mineralgjødsel og kjemisk industri. Det er behov for teknologiutvikling både knyttet til fangst av utslipp fra ulike industrikilder og til transport og lagring. Her kan Norge bidra til å utvikle en teknologi som også kan spres til andre land. For eksempel står verdens sementproduksjon for ca. 5 prosent av de globale utslippene. Dersom CCS skal tas i bruk i stor utstrekning er det viktig at denne teknologien demonstreres i stor skala.

Utvikling av nye industriprosesser med minimale klimagassutslipp for norsk prosessindustri

Å utvikle teknologi som reduserer utslipp fra produksjon av sement og mineralgjødsel er viktig fordi disse sektorene er store utslippskilder globalt. Teknologi som reduserer prosessutslipp fra for eksempel ferrolegering- og aluminiumsproduksjon er viktig for å muliggjøre vekst av denne produksjonen globalt, uten å øke de globale utslippene. For å redusere utslippene ytterligere i disse sektorene, er det behov for teknologigjennombrudd. Videreføring av forskning, utvikling og etablering av pilotanlegg er viktig for å lykkes.

Styrke satsingen på utviklingen av biologisk baserte kjemikalier og drivstoff

Dette er et område hvor Norge har industriell kompetanse, hvor blant annet våtorganisk avfall og den norske skogen er et viktig ressursgrunnlag. Ressursgrunnlaget kan på lengre sikt økes gjennom nye ressurser som eksempelvis alger eller tare.

Utnytte ressursene i avfall

I et lavutslippsperspektiv forventer vi høyere grad av ressursutnyttelse av avfall enn i dag. Vi antar at det meste av potensialet for utslippsreduksjoner fra avfallsdeponier som ble identifisert i Klimakur er utløst, og det derfor først og fremst er ved tiltak rettet mot materialgjenvinning og biologisk behandling at avfallssektoren kan bidra med utslippsreduksjoner. Tiltak som bidrar til avfallsforebygging kan gi reduserte utslipp gjennom livsløpet fra framstilling av råvare og produkt til behandling av avfallet.

Hva bør man starte med raskt?

I tillegg til å ta tak i de langsiktige strategiene, er det en rekke tiltak som kan gjennomføres på kort sikt og som vil raske utslippsreduksjoner og samtidig bidra til å hindre "lock-in" i fossil infrastruktur som gjør det vanskeligere å nå et lavutslippssamfunn.

Ett viktig område er å følge opp og se til at virkemiddelapparatet er tilstrekkelig for å gjennomføre "enkle" utslippsreduksjoner. Det gjelder eksempelvis utfasing av fossil energi i byggsektoren. Dette er allerede vedtatt, men virkemidlene må på plass. Et annet område er utfasing av fossile energibærere til stasjonær forbrenning i industri og husholdninger der det er mulig, gjennom overgang til elkjeler, varmepumper, biokjeler eller biogass/oljer. Et tredje eksempel er å realisere energieffektiviseringsgevinster i industri, næringsliv og husholdninger.

Å få på plass ytterligere demonstrasjonsanlegg og systemer som demonstrerer klimaløsninger, eksempelvis innen CCS, eller lavutslippsløsninger i transport, vil øke forståelsen og erkjennelsen av at klimautfordringen er mulig å løse.

Innhold

Sammendrag	2
Innhold	18
Oppdrag, forutsetninger og avgrensning	23
Tolkning	23
Avgrensning	25
Prosess	26
1. Utfordringen	28
1.1 Hva sier IPCCs femte hovedrapport?	28
1.2 Global avtale og regionale initiativer	30
2. Globale trender og drivkrefter	31
2.1 Innledning	31
2.2 Hvilke drivkrefter ser vi?	32
2.2.1 Det tyske Energiewende	32
2.2.2 Fornybar kraftproduksjon - på vei mot et paradigmeskifte?	35
2.2.3 Storskala elbilproduksjon	39
2.2.4 Økende bevissthet i finansverdenen	40
2.2.5 Utslippsbegrensninger for den amerikanske kraftsektoren	41
2.2.6 Kullforbruk i Kina	42
2.2.7 Økt behov for energisikkerhet	43
2.2.8 Ressursknapphet	43
2.2.9 Klima høyere på den politiske agenda	45
2.2.10 Nasjonale langsiktige utslippsmål	46
2.3 De positive trendene må forsterkes	49
3. Norges utslippssituasjon	51
3.1 Innledning	51
3.2 Norske særtrekk	51
3.3 Dagens utslippssituasjon	51
3.3.1 Sektorenes betydning	52
3.3.2 Skog og andre landarealer	53
3.3.3 Klimagassene	54
3.4 Effekt av tiltak og virkemidler	55
3.5 Nye næringsstrukturer	56
3.6 Endret forbrukeratferd	57
3.7 Byutvikling	57
3.8 Arealutfordringer	58
3.9 Biomasse til bioenergi	58

4. Mot lavutslippssamfunnet - sektor for sektor	60
4.1 Tilnærming	60
4.1.1 Innledning.....	60
4.1.2 Metodiske vurderinger	61
4.1.3 Virkemidler rettet mot flere sektorer	66
4.2 Industri	72
4.2.1 Innledning.....	72
4.2.2 Utslipp og framskrivinger	74
4.2.3 Industrisektoren i et lavutslippssamfunn.....	77
4.2.4 Tiltaksanalyse mot 2030.....	92
4.2.5 Oppsummering	96
4.3 Petroleum.....	98
4.3.1 Innledning.....	98
4.3.2 Utslipp og framskrivinger	99
4.3.3 Petroleumssektoren i et lavutslippssamfunn	102
4.3.4 Levetidsvurderinger.....	104
4.3.5 Tiltaksanalyse mot 2030.....	108
4.3.6 Mulige framtidige teknologier	123
4.3.7 Virkemidler	126
4.3.8 Mulige utslippsnivåer	128
4.3.9 Energikonsekvenser	129
4.3.10Oppsummering	130
4.4 Transport	132
4.4.1 Innledning.....	132
4.4.2 Utslipp og framskrivinger	133
4.4.3 Transportsektoren i et lavutslippssamfunn	137
4.4.4 Tiltaksanalyse mot 2030.....	148
4.4.5 Mulige utslippsnivåer	166
4.4.6 Oppsummering	176
4.5 Avfallssektoren	179
4.5.1 Innledning.....	179
4.5.2 Historiske utslipp og framskrivinger.....	179
4.5.3 Avfallssektoren i et lavutslippssamfunn	181
4.5.4 Tiltaksanalyse mot 2030.....	188
4.5.5 Mulige utslippsnivåer	196
4.5.6 Oppsummering	198
4.6 Energiforsyning	200
4.6.1 Innledning.....	200

4.6.2	Utslipp og framskrivinger	200
4.6.3	Energiforsyning i et lavutslippssamfunn	203
4.6.4	Tiltaksanalyse mot 2030.....	205
4.6.5	Mulige utslippsnivåer	207
4.6.6	Energikonsekvenser av endringer i energiforsyningssektoren	208
4.6.7	Oppsummering	208
4.7	Bygg.....	210
4.7.1	Innledning.....	210
4.7.2	Utslipp og framskrivinger	211
4.7.3	Byggsektoren i et lavutslippssamfunn	214
4.7.4	Tiltaksanalyse mot 2030.....	217
4.7.5	Mulige utslippsnivåer	221
4.7.6	Oppsummering	222
4.8	Fluorerte gasser i produkter.....	223
4.8.1	Innledning.....	223
4.8.2	Utslipp og framskrivinger	224
4.8.3	Bruk av fluorerte gasser i et lavutslippssamfunn	226
4.8.4	Tiltaksanalyse mot 2030.....	227
4.8.5	Oppsummering	229
4.9	Jordbruk	230
4.9.1	Innledning.....	230
4.9.2	Utslipp og framskrivinger	231
4.9.3	Jordbrukssektoren i et lavutslippssamfunn	236
4.9.4	Tiltaksanalyse mot 2030.....	238
4.9.5	Mulig utslippsnivåer	241
4.9.6	Oppsummering	243
4.10	Skog og andre landarealer	245
4.10.1	Innledning.....	245
4.10.2	Opptak, utslipp og framskrivinger	248
4.10.3	Skog og andre landarealer i et lavutslippssamfunn.....	250
4.10.4	Tiltaksanalyse mot 2030.....	255
4.10.5	Konsekvenser	266
4.10.6	Mulige opptak- og utslippsnivåer	266
4.10.7	Oppsummering	266
4.11	Kommunenes rolle	268
5.	Mulige utslippsnivå mot 2050	270
5.1	Innledning.....	270
5.2	Hvor store utslippskutt er nødvendig?	270

5.2.1	Hva skal til for å nå togradersmålet globalt?	270
5.2.2	Momenter som kan påvirke utslippsutviklingen i Norge	272
5.3	Mulige utslippsnivåer i 2050	274
5.3.1	Aggregering fra sektoranalysene.....	274
5.3.2	Sammenstilling av mulige utslippsnivåer i 2050	277
5.4	Mulige utslippsnivåer i 2030	278
5.4.1	Aggregering fra sektoranalysene.....	278
5.4.2	Hva blir effekten av klimaforliket i 2030?.....	281
5.5	Mulige utslippsbaner mot 2050	282
5.6	Kostnader	284
5.6.1	Innledning.....	284
5.6.2	Kostnadsberegninger basert på sektorvurderingene	285
5.6.3	Kostnadsberegninger med basis i TIMES-Norway.....	286
6.	Energi	290
6.1	Innledning.....	290
6.2	Energieterspørsel i Norge	290
6.2.1	Dagens situasjon	290
6.2.2	Etterspørselskonsekvenser av mulige tiltak mot 2030	293
6.3	Produksjon av elkraft og bioenergi.....	295
6.3.1	Mulig utvikling på produksjonssiden i Norge	296
6.3.2	Norsk elkrafts rolle i lavutslipps-Europa	305
6.4	Konsekvenser for naturmangfold av mer fornybar kraft og bioenergi i Norge	305
6.5	Oppsummering	310
7.	Noen avsluttende betraktninger	311
7.1	Norge på vei mot lavutslippssamfunnet	311
7.2	Hvor kan Norge gjøre en forskjell?	312
8.	Referanser	314
Vedlegg 1.	Oppdragsbrev	323
Vedlegg 2.	Grunnlag for framskrivingene	326
Vedlegg 3.	CO₂ -fangst og lagring	328
	CCS som teknologiløsning for Norge	328
	Status på CCS per i dag.....	328
	Teknologibeskrivelse.....	329
Vedlegg 4.	Hydrogen	331
	Hydrogen som energibærer.....	331
	Teknologi for produksjon	332
	Omfang og utvikling internasjonalt	333
	Produksjon og bruk av hydrogen i Norge	333

Vedlegg 5. Solenergi	335
Solenergi som teknologiløsning i Norge	336
Vedlegg 6. Vedlegg til sektorkapittel 4.4 Transport	338
Detaljer om personbiler.....	341
Vedlegg 7. Sektorvise utslippsreduksjoner i forhold til referansebanen	343

Oppdrag, forutsetninger og avgrensning

Tolkning

Denne rapporten er Miljødirektoratets svar på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet av 19. mars 2014 om fase 2 av arbeidet med kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling. Se tekstboks under for et utdrag av oppdragsteksten og vedlegg 1 for en fullstendig oppdragstekst. Miljødirektoratet besvarte fase 1 av oppdraget til Klima- og miljødepartementet i rapporten *Faglig grunnlag for videreutvikling av den nasjonale og internasjonale klimapolitikken* (Miljødirektoratet, 2014b). Denne rapporten blir gjennomgående kalt fase 1-rapporten. Av oppdraget fremgår det at rapporten for fase 2 skal bidra med faglig underlag inn i flere viktige prosesser i Klima- og miljødepartementet, blant annet utforming av ny klimaforpliktelse for Norge. Denne rapporten inneholder altså ikke forslag til politikk, men er et faglig politikkgrunnlag. Norge skal innen utgangen av første kvartal 2015 melde inn til FN et foreløpig mål for reduksjon av utslipp av klimagasser for perioden etter 2020. Aktuelle målår er 2025 og 2030. I oppdraget er Miljødirektoratet også bedt om å gjøre en mer utdypende analyse av virkemidler og mulige tiltak med frist 15. februar 2015.

For å besvare den delen av mandatet som beskriver Norge som lavutslippssamfunn i 2050 (punkt a) har vi utarbeidet sektorvis beskrivelser av Norge som lavutslippssamfunn. Resultatet av sektoranalysene er så sammenstilt og drøftet i lys av hva FNs klimapanelers femte hovedrapport sier er nødvendig av utslippsreduksjoner globalt for at man skal være i tråd med togradersmålet. Vi har også sett på ambisjonsnivået i klimapolitikken mot 2050 for land det er naturlig å sammenlikne oss med og drøftet særnorske forhold som kan tenkes å ha betydning for Norge som lavutslippssamfunn.

I tråd med oppdraget har vi ikke kommet med et forslag til utslippsnivå i 2025, 2030 og 2050, men synliggjort mulige utslippsnivåer basert på ulike forutsetninger og konsekvenser av disse. Videre har vi sett overordnet på hvilke teknologier som kan komme til å bli avgjørende, samt nødvendige strukturelle endringer innen teknologi og infrastruktur. Vurderingen for 2050 er av mer overordnet karakter, mens tilnærmingen for 2030 har vært å summere utslippsreduksjonene fra ulike nivåer på tiltakspakker fra alle sektorer. Det har ikke vært mulig innenfor tidsfristen å gjøre tilsvarende egne vurderinger for 2025. Utslippsnivået for 2025 vil i stor grad avhenge av hvor raskt tiltakspakkene for 2030 implementeres.

For å vurdere utslippsutvikling uten nye tiltak og virkemidler har vi tatt utgangspunkt i utslippsframskrivingen som ble gjort i forbindelse med Perspektivmeldingen for 2013. Vi er kjent med at det er blitt utarbeidet oppdaterte framskrivinger i forbindelse med Nasjonalbudsjettet for 2015 som ble lagt fram 8. oktober, men det har ikke vært mulig for oss å oppdatere vårt tallgrunnlaget i tråd med dette, ettersom arbeidet har pågått parallelt. Uansett referansebane er imidlertid usikkerheten svært stor når man lager framskrivinger fram mot 2050. Framskrivingene legger til grunn at dagens tiltak og virkemidler videreføres, mens vår hovedtilnærming har vært at utviklingen globalt går i tråd med togradersmålet.

Oppdragsbeskrivelse

a) Norge som lavutslippssamfunn i 2050

Miljødirektoratet bes om å gi en faglig vurdering av hvordan et lavutslippssamfunn bør defineres for Norge, i tråd med togradersmålet og hva den nyeste kunnskapen fra IPCC tilsier om gjennomsnittlig utslipp per person for verdens befolkning i 2050. I beskrivelsen av et lavutslippsnivå for Norge i 2050 skal det tas høyde for usikkerhet i anslag for utslippsnivå og mulig fleksibilitet, i form av intervaller eller lignende. Energi vil være en viktig del av denne vurderingen. Det skal gjøres vurderinger av hvordan opptak og binding av karbon i skog og andre arealer kan bidra til å nå lavutslippssamfunnet. Det skal videre beskrives overordnet hvilke konsekvenser for utslipp på sektornivå lavutslippssamfunnet kan gi for Norge. Analysen skal også gi grunnlag for å vurdere hvilke strukturelle endringer innen teknologi og infrastruktur som er nødvendige for å gi oss lavutslippssamfunnet, og hvilke tiltak og virkemidler som bør gjennomføres i dag, selv om de først vil gi utslippsreduksjoner på lengre sikt.

b) Utslippsbaner i tråd med lavutslippsnivå i 2050, avhengig av gjennomføring av klimaforliket

Utslippsbanen mot 2050 vil være avhengig av hvilket samlet utslipp Norge har i 2020. Jf. klimaforliket er det et mål å redusere norske utslipp med 15-17 millioner tonn i 2020, noe som vil gi et samlet utslippsnivå på 47 millioner tonn CO₂-ekvivalenter når skog er holdt utenfor. Som del av oppdraget bes Miljødirektoratet om å legge fram to utslippsbaner for 2025, 2030 og fram til 2050. Det er ønskelig med en framstilling basert på at klimaforlikets nasjonale mål fram til 2020 oppfylles, dvs. der Norges utslipp ligger på 47 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Utslippsbanene må baseres på den mest oppdaterte utslippsframskrivningen for Norge som utvikles i forbindelse med nasjonalbudsjettet for 2015. (dvs. gitt effekt av dagens virkemidler).

c) Analyse av ulike ambisjonsnivåer for 2025 og 2030 - kostnader og konsekvenser

Miljødirektoratet skal gi en overordnet analyse av mulige utslippsnivåer for Norge fram mot 2025 og 2030 som er konsistent med utslippsbaner mot lavutslippssamfunnet, slik det er beskrevet over.

Miljødirektoratet bes om å redegjøre for hvilke forskjeller det vil være mellom de to utslippsbanene beskrevet under punkt b, med ulike utslippsnivåer i 2020, med hensyn til tiltaksmuligheter og kostnader for perioden etter 2020. Analysen skal bygge på tilgjengelig og oppdatert informasjon. Forutsetninger for analyser innen transport bør så langt det er mulig være konsistent med forutsetninger som legges til grunn i transportetatens arbeid med Nasjonal transportplan. I retningslinjene til Nasjonal transportplan legges det til grunn at det i de ulike analysene skal belyses hva som kreves for å oppnå målet om omstilling til et lavutslippssamfunn innen 2050 der det er relevant. Jf. retningslinjene forutsettes det at transportetatene og Avinor deltar aktivt inn i Miljødirektoratets arbeid.

Vi har gjort en overordnet vurdering av den langsiktige effekten av at klimaforliket oppfylles i år 2020. Her har vi lagt til grunn samme tolkning av klimaforlikets mål som ble lagt til grunn i Klimakur 2020, det vil si at nasjonale utslipp skal ned til mellom 45–47 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2020, når man ser bort fra binding av karbon i skog. I konkretiseringen har vi lagt til grunn at det er tiltakene som Miljødirektoratet utredet i fase 1-rapporten som gjennomføres og at disse gir utslippsreducerende effekt i tråd med øvre estimat. Et annet sentralt spørsmål har vært å vurdere hvorvidt Norge kan risikere å låse seg inne i løsninger som gjør det mer krevende og kostbart å omstille til et lavutslippssamfunn senere, dersom klimaforliket ikke nås.

Vår tilnærming til analysen av ulike ambisjonsnivåer for 2030 (punkt c i mandatet) har vært å vurdere overordnet hva slags utslippsnivåer Norge må ha i 2025 og 2030 for å være på rett vei mot lavutslippssamfunnet i 2050, slik det er beskrevet som svar på punkt a i mandatet. Vi har også vurdert ambisjonsnivået i lys av EU-kommisjonens forslag om 40 prosent utslippsreduksjon i 2030 sammenlignet med 1990-nivå. Parallelt med dette har vi gjennomført sektorvise vurderinger av muligheter for utslippsreduksjoner.

På grunn av tidsperspektivet fram mot 2050 har vi funnet det lite hensiktsmessig å gjøre svært detaljerte tiltaksvurderinger. Togradersmålet krever at de globale utslippene reduseres ned mot null og kanskje går karbonnegative mot slutten av århundret.

Kapittel 1 gir et oppdatert bilde av klimautfordringen og kapittel 2 beskriver noen av de positive trender vi ser globalt. I kapittel 3 gis det et overordnet bilde av Norge, våre klimagassutslipp i dag, samt noen refleksjoner omkring hvordan man kan se for seg næringsutvikling og sammensetning på vei mot et lavutslippssamfunn. Kapittel 4 inneholder sektorvise tiltaksanalyser for 2025/30, samt 2050. I kapittel 5 sammenstilles de sektorvise tiltaksanalysene opp til mulige nasjonale utslippsnivåer i 2030 og 2050 og det gjøres en vurdering av kostnadene knyttet til mulige utslippsnivåer i 2025/30. I kapittel 6 beskrives mulige konsekvenser for etterspørsel etter energi som følge av overgangen til lavutslippssamfunnet. Kapittel 7 inneholder en oppsummering, og beskriver handlinger som må til for å få til overgangen til lavutslippssamfunnet.

Avgrensning

Vi har i vår tilnærming lagt til grunn at det fortsatt skal være økonomisk vekst i Norge, i tråd med det som er lagt til grunn i de offisielle framskrivningene. Det vil si at vi ikke har sett på redusert økonomisk vekst generelt som et tiltak for å redusere Norges klimagassutslipp. Tiltak og virkemidler som er omtalt i denne rapporten vil imidlertid kunne påvirke den økonomiske veksten. Vår tilnærming er partiell. Det vil si at vi kan si noe om kostnadene av enkelttiltak, men vi har ikke forutsetning for å si noe om eventuelle økonomiske ringvirkninger som følge av klimatiltak og virkemidler.

Vi har tatt utgangspunkt i dagens næringsstruktur, men beskrevet nødvendigheten av strukturelle tiltak og behovet for teknologisk utvikling. Befolkningens forbruksmønster vil kunne påvirke Norges framtidige utslippsnivå. Vi har til en viss grad sett på endret forbruk som tiltak innenfor enkelte sektorer, men vi har ikke gjort noen heldekkende analyse av effekten av endret forbruk mer generelt.

Ettersom oppgaven har vært å lage beslutningsgrunnlag for en ny norsk klimaforpliktelse, har hovedfokuset vært på hvordan vi kan redusere utslipp fra norsk territorium i våre kvantitative beregninger, samtidig som vi også har vurdert tiltak og virkemidler i en global sammenheng og langsiktig sammenheng, mer kvalitativt.

Klimapolitikk og energipolitikk henger svært nøye sammen, samtidig som Norge er i en særstilling ettersom vår landbaserte kraftproduksjon så å si er 100 prosent fornybar i utgangspunktet. Energieffektivisering og økt fornybar energiproduksjon er viktig i en global sammenheng, selv om det i liten grad påvirker norske utslipp direkte. I energikapittelet har vi sett på hvordan klimatiltak i Norge kan tenkes å påvirke energietterspørselen i årene framover, og hvilke konsekvenser dette kan tenkes å få for blant annet biologisk mangfold. Vi har imidlertid ikke gjort noen helhetlig vurdering av tilbudssiden av energimarkedene, men viser her til den varslede energimeldingen.

Vår tilnærming har vært å beskrive Norge som lavutslippssamfunn med utgangspunkt i nasjonale utslippsreduksjoner. En mer markedsbasert tilnærming er å studere virkningen på utslipp i Norge av en felles global karbonpris i tråd med togradersmålet (I SSB-rapport 39/2013 er dette gjort³).

Klimakonvensjonen (UNFCCC) fra 1992, som så godt som alle verdens land står bak, har nedfelt i paragraf 2 at verden skal stabilisere globale klimagassutslipp på et nivå som unngår alvorlige konsekvenser av menneskeskapte klimaendringer. I tråd med dette ble UNFCCC i 2010 i Mexico enig om det såkalte togradersmålet som innebærer at den globale gjennomsnittstemperaturen ikke skal øke mer enn 2 grader i forhold til nivået i før-industriell tid. Foreløpig har ikke landene blitt enig om hvordan dette målet skal operasjonaliseres gjennom en ny klimaavtale. Som en hovedtilnærming er det i denne rapporten lagt til grunn at verden som helhet reduserer utslippene i tråd med denne enigheten. Det er bred politisk enighet gjennom klimameldingen og klimaforliket om at Norge mot midten av århundret skal omstilles til et lavutslippssamfunn. Samtidig er FNs klimapanel meget tydelig på at tiden er svært knapp dersom man skal holde seg innenfor karbonbudsjettet som er tilgjengelig innenfor et togradersscenario.

Prosess

Vi har hatt snaue fem måneder til å besvare fase 2 av lavutslippsoppdraget. Tidsrammen har medført at vi har måttet legge noen begrensninger på omfanget av besvarelsen. Vi har i liten grad utredet nye tiltak men har i stor grad basert oss på tilgjengelig og oppdatert informasjon.

I mars 2010 leverte en omforent faggruppe bestående av Oljedirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Statens Vegvesen, Statistisk Sentralbyrå og Klima- og forurensningsdirektoratet rapporten Klimakur 2020. Her ble det utredet tiltak og virkemidler for å nå norske utslippsmål mot 2020. Miljødirektoratet ser det som svært verdifullt å samarbeide med andre etater om denne typen analyser, både fordi det er viktig å trekke på verdifull sektorkompetanse i analysene, og fordi det styrker det faglige grunnlaget når en samlet faggruppe står bak.

Mandatet for dette arbeidet inneholder ikke noen tilsvarende forventning om å være omforent, men sier at vi i dette arbeidet skal involvere berørte etater ved behov og ta initiativ til egnede strukturer for videre samarbeid, herunder ta initiativ til dybdestudier på enkeltområder hvor kunnskapsgrunnlaget bør styrkes. Transportsektoren er nevnt særskilt, ved at forutsetninger for analyser innen transport så langt som mulig bør være konsistent med forutsetninger som legges til grunn i transportetatenes arbeid med Nasjonal transportplan.

Miljødirektoratet har så langt det har vært praktisk mulig innenfor tidsfristen søkt å samarbeide med relevante etater og andre aktører for å sørge for at faktagrunnlaget i form av teknologi-vurderinger, samt tiltaks- og kostnadsberegninger er mest mulig avklart. Vi ønsker spesielt å takke Statens Vegvesen, Jernbaneverket, Kystverket, Avinor, Oljedirektoratet, Norges Vassdrags- og Energidirektorat, Statens landbruksforvaltning, Kommunenes sentralforbund, ENOVA, Norsk Institutt for skog og landskap, Bioforsk, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Næringslivets

³ I SSB-rapport 39/2013 (SSB, 2013a) studeres forskjellen mellom en unilateral norsk ambisiøs klimapolitikk og en global ambisiøs klimapolitikk. Hva som er kostnadseffektive tilpasninger i de to politikktilfellene skiller seg fra hverandre. Blant annet gir en unilateral klimapolitikk svekket konkurranseevne i næringer som opererer i internasjonale markeder, samtidig som klimateknologiske framskritt skjer saktere når utviklingen ikke drives framover av global etterspørsel og utprøving av nye løsninger.

hovedorganisasjon, Norsk Industri og en rekke industribedrifter for nyttige innspill til arbeidet. Sluttproduktet står imidlertid for Miljødirektoratets regning alene.

1. Utfordringen

1.1 Hva sier IPCCs femte hovedrapport?

FNs klimapanel (IPCC) publiserer de ulike delene av den femte hovedrapporten (AR5) i 2013 og 2014. Dette er den største og mest omfattende sammenstillingen av forskning om klimautfordringene noensinne. Sammenlignet med tidligere rapporter er AR5 mer entydig og sikker i konklusjonene om at klimaet er i endring og at konsekvensene av klimaendringene allerede er observert.

Målinger siden slutten av 1800-tallet viser at temperaturen i atmosfæren har økt med 0,85 grader Celsius fra 1880 til 2012. Hvert av de tre siste tiårene har vært varmere enn det foregående, og de tre siste tiårene har alle vært varmere enn noe tidligere tiår siden 1850. Perioden fra 1983 til 2012 er den varmeste 30-års-perioden på den nordlige halvkulen, i løpet av de siste 1400 årene.

Klimapanelet konkluderer med at det er ekstremt sannsynlig (95–100 prosent) at klimagassutslippene fra menneskelig aktivitet er hovedårsaken til temperaturendringene fra 1951 og fram til i dag. Rapporten konkluderer også med at klimagassutslippene våre har varmet opp havet, smeltet snø og is og hevet det globale havnivået i samme periode.

Framtidens utslipp av klimagasser vil i stor grad avgjøre hvor mye jorden varmes opp i det 21. århundret. Temperaturendringene vil ikke være like store i alle regioner. Oppvarmingen over land vil bli større enn oppvarmingen over hav og oppvarmingen av Arktis vil skje raskest.

Klimaendringene vi har sett de siste tiårene har hatt virkninger på natur og mennesker på alle kontinenter og hav. For eksempel har endrede nedbørsmønstre og smeltende snø og is påvirket både vannkvalitet og vanntilgang i mange regioner. Permafrosten varmes og tines. Både på land og i vann har mange dyr og planter flyttet på seg eller endret atferdsmønster. Endringer i klima gjør også at det finstilte og komplekse samspillet mellom artene påvirkes.

Både tilpasning og raske utslippskutt er nødvendig. Jo varmere det blir, jo større sjanse er det for at vi ikke lenger vil kunne tilpasse oss. Klimapanelet slår fast at dersom temperaturen øker med 4 grader eller mer, vil vi oppleve svært alvorlige virkninger som kan være irreversible. Vi kan ikke tilpasse oss alle endringer i den verdenen vi er i ferd med å skape med dagens utslippsutvikling. Det er derfor nødvendig at utslippene reduseres kraftig i løpet av de neste tiårene for å kunne begrense temperaturøkningen til to grader.

Utslippene øker fortsatt, og i 2010 var globale utslipp av klimagasser 49 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter mens de i 1970 var 27 milliarder. De siste førti årene har vi sluppet ut like mye klimagasser som fra før-industriell tid og frem til 1970. Økt bruk av kullkraft det siste tiåret har også ført til at karbonintensiteten i energiproduksjonen, altså utslipp per enhet energi produsert, gikk opp i perioden fra 2000 til 2010. Dette representerer en reversering av en langvarig trend der energiproduksjonen har blitt gradvis mindre karbonintensiv.

Karbonbudsjettet

Dersom vi skal unngå mer enn to graders oppvarming sammenlignet med før-industriell tid, kan ikke de historiske og framtidige klimagassutslippene til sammen overstige 2900 milliarder tonn CO₂.

Frem til 2011 hadde vi brukt opp mellom 1630 og 2150 milliarder tonn CO₂, det vil si at ca. 1/3 av karbonbudsjettet gjenstår. Med dagens nivå av klimagassutslipp (ca. 7 tonn CO₂ per innbygger) gjenstår det kun 20-30 år igjen før hele karbonbudsjettet er brukt opp.

Kilde: (IPCC, 2013; IPCC, 2014)

Gjennom internasjonale klimaforhandlinger har verdens ledere blitt enige om å overholde togradersmålet. Det innebærer at landene har forpliktet seg til å jobbe mot at temperaturøkningen er maksimum to grader høyere enn førindustriell tid. Forskerne i FNs Klimapanel viser til at en to graders økning i global gjennomsnittstemperatur er grensen for hva naturen kan tåle før klimaendringene blir alvorlige og ukontrollerbare. Det er betydelig usikkerhet i hvor store utslippene i dette århundret kan være uten at temperaturstigningen vil bli mer enn to grader. FNs klimapanel sier at for å ha mer enn 66 prosent sjanse for å nå togradersmålet, må verden stanse den globale utslippsveksten, slik at konsentrasjonen i atmosfæren begrenses til mellom 430 og 480 ppm CO₂-ekvivalenter, også referert til som 450 ppm scenarioet⁴.

Om vi klarer å stanse den globale utslippsveksten⁵ og snur utviklingen slik at utslippene i 2030 ikke er høyere enn det de er i dag (50 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter), vil togradersmålet kreve utslippskutt på om lag 3 prosent per år i perioden 2030 til 2050. I scenarioer hvor de globale utslippene stiger til over 55 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter i 2030, tilsvarende forventet utvikling uten nye tiltak, må utslippene reduseres i gjennomsnitt opp mot 6 prosent per år i perioden 2030 til 2050 for å overholde togradersmålet og komme ned til 15-30 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter i 2050. En slik høy reduksjonstakt innebærer kutt hvert år tilsvarende utslippene fra om lag 500 middels store kullkraftverk, hele den globale personbilparken eller tre ganger utslippene fra all luftfart.

Scenarioene i AR5 som er i tråd med togradersmålet kjennetegnes av omfattende utslippskutt i alle sektorer.

Til forskjell fra IPCCs fjerde hovedrapport (IPCC, 2007) sier IPCCs femte hovedrapport mer om utslippsreduksjoner etter 2050 og frem mot 2100. Mange av klimamodellene som er benyttet har lagt inn muligheten for en kombinasjon av "overshoot" og negative utslipp. Med andre ord, utslippene frem mot 2050 gjør at konsentrasjonen av klimagasser først overstiger 450 ppm grensen. Dette kompenseres for senere med netto negative globale utslipp i perioden 2081 til 2100. Dette kan for eksempel skje gjennom omfattende kraftproduksjon basert på bioenergi, der CO₂ fra forbrenningen fanges og lagres (CCS) eller gjennom omfattende skogplanting. Scenarioene som ikke innebærer bruk av bioenergi og CCS, men som allikevel når togradersmålet, kommer ut som dyrere enn scenarioer som har bioenergi og CCS i stor skala tilgjengelig i framtiden på grunn av kostnadsantagelsene som er benyttet i modellene. En omfattende energiproduksjon basert på biomasse vil bety en svært utfordrende global omstilling som krever påskoging på store arealer og

⁴ Til sammenligning var konsentrasjonen i 2011 på 430 ppm CO₂-ekvivalenter (usikkerhet 340-520 ppm). Årsaken til at spennet er så stort er først og fremst usikkerhet i klimaeffekten av aerosoler.

⁵ Klimagassutslippene har økt med 2,2 % per år i perioden 2000-2010 (IPCC, 2014).

som kommer i konflikt med blant annet matproduksjon i en verden hvor befolkningen øker. Areal kommer til å bli en avgjørende begrensende faktor ikke bare globalt, men også for Norge. Areal skal levere mat, skogbasert næring, bioenergi og naturmangfold i tillegg til at bygging av boliger og infrastruktur vil være arealkrevende. Dersom vi vil unngå slike arealkonflikter og være minst mulig avhengige av en teknologi som per i dag ikke er moden må vi redusere behovet for negative utslipp ved å snu utslippsutvikling før 2030. Det er også usikkert hvor store klimaendringer vi kan forvente oss og konsekvensene av disse, dersom vi tillater konsentrasjonen av klimagasser å overstige 450 ppm.

IPCCs hovedkonklusjoner danner bakteppet for analysen i denne rapporten. I kapittel 5.2 drøftes ulike ambisjonsnivåer i 2050 for Norge i lys av dette.

1.2 Global avtale og regionale initiativer

En altomfattende internasjonal klimaavtale som skaper en global karbonpris er først-best-løsningen og trolig hva som kreves på sikt, men en slik avtale har så langt vært utenfor rekkevidde. Det arbeides nå intenst med å komme frem til en ny internasjonal klimaavtale i Paris i 2015. Målet er en avtale som setter bindende utslippsforpliktelser for alle de største utslippslandene. En slik avtale vil kreve en viss grad av overnasjonale elementer og bestemmelser. Utfallet av forhandlingene er derimot høyst uvisst, og graden av overnasjonal struktur i en ny avtale er blant de mest omstridte punktene. Det blir for eksempel vanskelig å få på plass en ny avtale med samme struktur som Kyotoprotokollen hvor alle land som er med tar absolutte utslippsforpliktelser med samme basisår og omfang, hvor det utstedes "Assigned Amount Units" i samsvar med forpliktelsen og hvor det er felles regler for blant annet utslippsrapportering og bruk av kvotemarkedet. En ny avtale som er politisk bindende, men ikke nødvendigvis juridisk eller folkerettslig bindende, kan være et mulig utfall. En slik type avtale er ofte beskrevet som en "nedenfra-og-opp"-avtale og ville innebære at land legger på bordet et utslippsmål formulert gjennom egne interne prosesser. Dette står i motsetning til "ovenfra-og-ned"-tilnærmingen som Kyotoprotokollen representerer.

En "nedenfra-og-opp"-avtale betyr ikke nødvendigvis at den ikke kan være ambisiøs, men det kan bli vanskeligere å vurdere den totale effekten av en slik type avtale da de ulike forpliktelsene kan være formulert veldig forskjellig og kan oppfylles på ulike måter. Det er også godt mulig at en ny avtale i Paris ikke vil reflektere et samlet ambisjonsnivå i tråd med et togradersmål. En ny avtale vil gjelde fra perioden etter 2020, men samtidig viser IPCC i sin femte hovedrapport at de internasjonale forpliktelsene frem til 2020, som det ble enighet om i Cancun i 2010, ikke er tilstrekkelig for å oppnå et togradersmål. Det er riktignok en egen arbeidsstrøm i klimaforhandlingene som skal bidra til å øke utslippskuttene frem til 2020, men det er uvisst hvor mye som vil komme ut av dette forhandlingssporet. Tilstrekkelig omstilling og utslippskutt på kort sikt krever derfor at enkeltland, regioner og bransjer går foran på visse områder for å utvikle teknologier og skape løsninger som bidrar til at andre land følger etter. Dette er ikke minst viktig for å unngå innlåsing av teknologivalg inntil en ambisiøs global avtale er på plass. I neste kapittel gir vi eksempler på positive trender og drivere vi ser globalt som vi mener vil være viktige med tanke på den omleggingen som skal til.

2. Globale trender og drivkrefter

2.1 Innledning

Hovedtrenden er at globale klimagassutslipp fortsatt øker. Dette gir grunn til stadig større bekymring og det er liten tvil om at det blir svært krevende å snu denne utviklingen. I dette kapittelet har vi likevel valgt å beskrive noen av de globale trendene og drivkreftene vi ser i dag som peker i riktig retning, fordi det er disse trendene som må forsterkes dersom verden skal nå målet om å begrense økningen i global gjennomsnittstemperatur til to grader.

Det er bare 35 år til 2050. I de neste 35 årene må vi ta hensyn til miljø, arts mangfold, knapphet på vann og ikke minst begrense utslippene av klimagasser. For å kunne håndtere befolkningsvekst og samtidig løfte millioner av mennesker ut av fattigdom må vi legge om til "grønn" vekst.

Samspillet mellom myndigheter og markeder blir avgjørende i denne omleggingen. Myndigheter verden over må gi retning og sette troverdige og forutsigbare rammer. Myndighetene må være støttespillerne som gir næringsliv og forskningsmiljøer de langsiktige rammene som gjør at det forskes, prøves og feiles - og at de grønne løsningene tas i bruk. Dette kapittelet gir en del eksempler på denne dynamikken mellom myndighet og marked, og endringene dette har ført til.

Vi vet i all hovedsak hvilke store grep som må til. Avskogingen må stoppes og energisystemene verden over må legges om. Mange enkeltbeslutninger i årene framover må trekke i samme retning, samtidig som ingen vet akkurat hvilke teknologier og løsninger som vil bli avgjørende. En ambisiøs klimaavtale der alle land forplikter seg til dype kutt og/eller et omfattende kvotesystem med tilstrekkelig høy karbonpris vil på sikt kunne bidra til en slik felles innsats. Men energiomstillingen tilskyndes også på andre måter, både gjennom politiske beslutninger i enkeltland og gjennom markedsdrevne endringer. Tiden er knapp. Det er dagens investeringsbeslutninger i alle sektorer som legger grunnlaget for lavutslippssamfunnet.

Norges omstilling mot et lavutslippssamfunn vil være avhengig av hva som skjer i verden rundt oss. Dette kapittelet beskriver noen av de globale drivkreftene vi ser som peker i riktig retning og gir dermed ikke en balansert virkelighetsbeskrivelse, men synliggjør i stedet den positive utviklingen som finner sted i ulike land og innen enkelte teknologier. Meningen er å illustrere trender vi ser i dag som kan bli avgjørende for den globale omleggingen mot et lavutslippssamfunn og som Norge må forholde seg til både klimapolitisk og næringspolitisk.

Vi har valgt å starte med det tyske "Energiewende" av flere grunner. Omleggingen av energisystemet i Tyskland viser hvordan teknologiutvikling og transformasjon av en hel sektor kan igangsettes gjennom politiske virkemidler. Den tyske energiomleggingen har medvirket til at kostnaden på elektrisitet fra sol og vind nå nærmer seg kostnaden på elektrisitet fra fossile brensler i store deler av verden. Utfordringene tyskerne må håndtere synliggjør hva som kan bli vanskelig for alle land som skal erstatte store mengder stabil fossil kraftproduksjon med kraft fra variable kilder som sol og vind. Hva som skjer i Tyskland er også spesielt relevant for Norge med tanke på norsk eksport av både gass og elektrisk kraft.

Vi har så sett på tre lavutslippsteknologier som forhåpentligvis innen kort tid kan tas i bruk i stor skala, nemlig sol, vind og elbiler. Hvor raskt disse teknologiene tas i bruk vil være avgjørende for

den globale omleggingen mot et lavutslippssamfunn - og for etterspørselen etter olje og gass på lenger sikt.

Utviklingen i de to største utslippslandene, USA og Kina, vil være av stor betydning for hvordan klimautfordringen løses. Obama-administrasjonen bruker luftforurensningsloven til å redusere utslipp fra transportsektoren og energiproduksjon, og i Kina er drivkreftene som kan føre til redusert bruk av kull viktige for framtidige klimagassutslipp.

I tillegg omtaler kapittelet endringene vi ser i finanssektoren, det økende behovet for energisikkerhet, hvordan ressursknapphet kan føre til mer klimavennlig produksjon og hvordan klima er på vei oppover på den politiske agendaen. Vi gir også eksempler på land som har satt ambisiøse langsiktige klimamål og vi avslutter kapittelet med en kort omtale av hva som blir viktig for å forsterke de positive drivkreftene for et bedre klima.

2.2 Hvilke drivkrefter ser vi?

2.2.1 Det tyske Energiewende

"The Germans were not really buying power - they were buying price decline."

- Hal Harvey til the New York Times, september 2014

Med sitt *Energiewende* er Tyskland et foregangsland når det gjelder omlegging av kraftsystemet. Myndighetene har satt ambisiøse mål som er fulgt opp med effektive virkemidler. *Effektive* i den forstand at virkemidlene har skapt hurtig endring og umoden teknologi er blitt tatt i bruk i stor skala.

2.2.1.1 Bakgrunn

Tyskerne har lenge vært opptatt av å legge om energisystemet. Opprinnelig var hovedfokuset utfasing av kjernekraft, som alltid har vært omdiskutert i Tyskland, i tillegg til ønske om å redusere import av kull, olje og gass. Allerede i år 2000 ble det innført støtteordninger for fornybar energi.

I 2010 innførte Angela Merkels regjering ambisiøse målsetninger for andelen fornybar kraft i hvert tiår frem mot 2050: 40–45 prosent innen 2025, 55–60 prosent innen 2035 og minst 80 prosent fornybar kraftproduksjon innen 2050. Etter Fukushima-ulykken økte motstanden mot atomkraft kraftig og den planlagte utfasingen av atomkraft ble fremskyndet. I august 2011 ble 8 atomkraftverk stengt og man ble enige om at de 9 siste skal fases ut innen 2022.

2.2.1.2 Ny fornybar kraftproduksjon

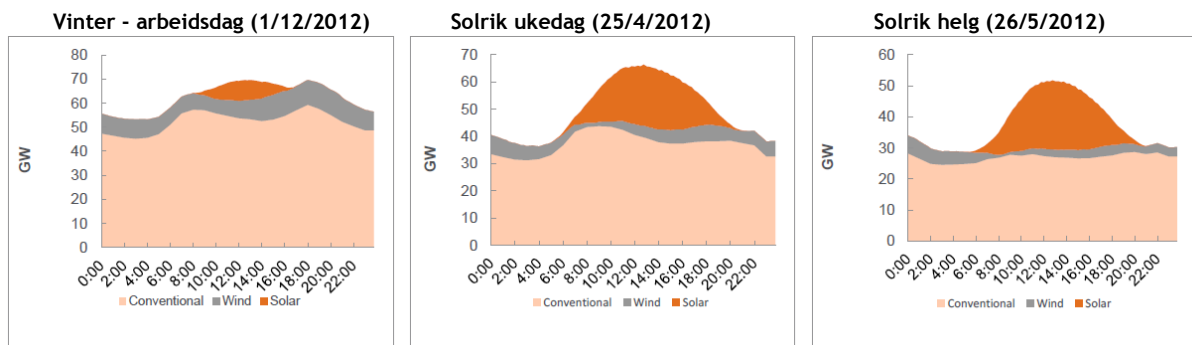
Det viktigste tyske energivirkemiddelet har vært innmatingstariffer (feed-in tariff). Tyskerne har ingen naturgitte fortrinn, men har likevel valgt å betale det det koster å få bygget store mengder sol- og vindkraft. Ulike fornybare teknologier får ulik støtte basert på estimerte investeringskostnader. Bonden som setter opp solcellepaneler på låvetaket eller vindturbiner langs jordet er garantert å få solgt sin elektrisitet til fast betaling i 20 år fremover.

Resultatet er imponerende: 40 000 vindmøller og mer enn 1,4 millioner solanlegg ved utgangen av 2013. 29 prosent av det tyske elektrisitetsforbruk kom fra fornybare kilder i 2013 og 31 prosent i første halvdel av 2014 (Frauenhofer ISE, 2014). Teknologitvillingen har vært enorm. I 1990 var en typisk vindmølle 40 meter høy med en kapasitet på 50 kW. 20 år senere var gjennomsnittshøyden 108 meter og effekten 2057 kW. Prisen på solenergisystemer i Tyskland har falt med mer enn 60 prosent siden 2006 (Graichen, 2014).

Tyskerne er på vei bort fra et sentralisert system med store kraftverk, mot et desentralisert system med store mengder lokal fornybar energiproduksjon. Deler av dagen dekker fornybar produksjonen mesteparten av etterspørsel og noen timer senere kan fornybarandelen gå mot null. Noen timer den 6. juni i år dekket sol alene halvparten av tysk kraftetterspørsel. Systemet må allikevel være dimensjonert for en grå, vindstille og kald novemberdag.

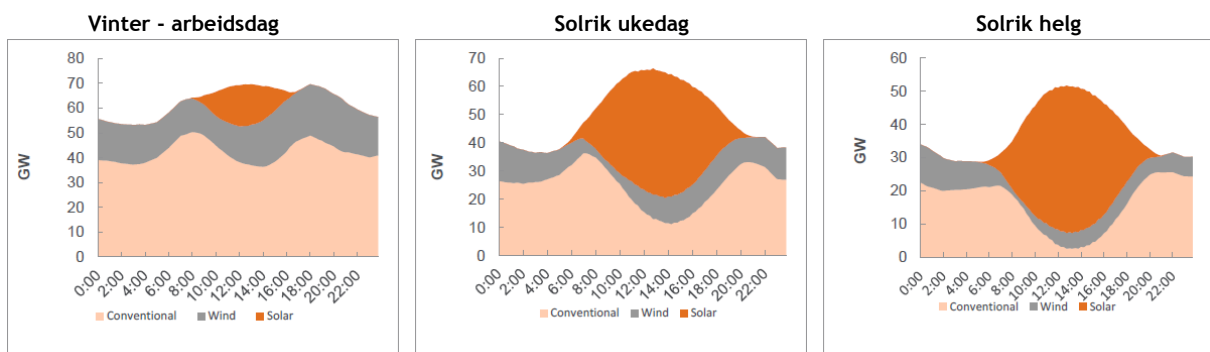
Den tyske energisomstillingen synliggjør hvilke utfordringer som ligger i å erstatte stabil storskala kraftproduksjon med store mengder lokalprodusert ustabil kraftproduksjon. Dette krever nye kraftsystemer, basert på økt grad av fleksibilitet, som kan sikre at krafttilbudet alltid matcher kraftetterspørselen - overalt i systemet. Verden over ser vi nå at lagring av kraft og fleksibilitetsløsninger er kommet langt høyere opp på agendaen.

Store volum av fornybar kraft med driftskostnader nær null presser de tyske strømprisene nedover. I sin rapport *Energy Darwinism - The Evolution of the Energy Industry* beskriver Citi Research det som nå som skjer i Tyskland, Australia og flere amerikanske delstater som «*the theft of peak demand*». Selv om sol bare produserer en liten andel av den totale kraftproduksjonen, produserer solinstallasjonene midt på dagen når etterspørsel er størst og prisene tradisjonelt har vært høyest. Figuren under viser kraftmiksen i det tyske systemet tre ulike dager i 2012. Allerede da dekket sol store deler av etterspørsel på en solrik dag.



Figur 2-1 Eksempler på tysk kraftmiks tre dager i 2012. Kilde: Citi Research, EEX.

Citi Research har simulert de samme tre dagene som over med doblet installert kapasitet for sol og vind. Den tradisjonelle grunnlasten som er stabil gjennom hele året er nå nesten forsvunnet. I følge beregninger fra Citi Research vil sol og vind kunne fortrenge hele den tradisjonelle grunnlasten i Tyskland i løpet av få år.



Figur 2-2 Simulering av tysk kraftmiks. Kilde: Citi Research, EEX.

2.2.1.3 Konsekvenser for fossil kraftproduksjon

Opprinnelig var forventningen at ny fornybar energi skulle erstatte atomkraft og den fossile produksjonen som er mest CO₂-intensiv - nemlig kullkraften. En kombinasjon av faktorer gjorde at dette ikke gikk som planlagt. Finanskrisen i 2008/2009 førte til lavere industriproduksjon og lavere etterspørsel etter kraft, og dermed dalte etterspørselen etter klimakvoter. Overskuddskvotene fra finanskrisen er et vedvarende problem. De forblir i systemet, og resultatet er at kvoteprisene er falt fra rundt 30 euro i 2008 til rundt 6 euro i 2014. Ved forbrenning slipper kull ut langt mer CO₂ enn gass, men med så lave kvotepriser har ikke gass lenger et fortrinn. Amerikanere har i samme periode satset på skifergass og selger nå kull billig til Europa. Prisene på importert kull har falt med 32 prosent siden 2011 (Caldecott & McDaniels, 2014). I tillegg har Tyskland egenprodusert kull som nyter godt av statlige subsidier⁶. Når europeiske gasspriser samtidig har holdt seg relativt høye, blant annet på grunn av høy etterspørsel i Asia og spesielt i Japan, betyr det at kulllets konkurransekraft er styrket vesentlig.

De siste årene er det dermed gasskraftverkene som har blitt presset ut av systemet. Antall driftstimer der gass er konkurransedyktig har blitt kraftig redusert, og resultatet er at et stort antall gasskraftverk i Tyskland er blitt tatt ut av drift eller lagt ned - inkludert to gasskraftverk i Emden og Landesbergen eid av Statkraft. Gasskraftverk som for bare få år siden ble regnet som trygge investeringer står nå stille. Den tyske energiomstillingen har satt et voldsomt press på de store kraftselskapene. Eksempelvis opplevde E.ON, Tysklands største energiselskap, at aksjekursen falt med 75 prosent i løpet av få år.

At kull fortrenger gass er problematisk med tanke på tyske klimamål. I fjor kom 25,8 prosent av tysk kraftproduksjon fra lokalprodusert brunskull som er mer forurensende enn vanlig kull og en tredjedel av tyske klimagassutslipp kom fra kullkraftverk (Chambers, 2014). Dersom Tyskland ikke klarer å begrense bruken av kull kan det bli vanskelig å nå det nasjonale målet om å redusere klimagassutslippene med 40 prosent innen 2020 i forhold til 1990.

2.2.1.4 Utfordringer

Omleggingen som finner sted blir betalt av tyske husholdninger gjennom fornybaravgiften som inkluderes i strømgjeldingen. På denne måten finansieres innmatingstariffene som produsentene får. Storparten av tysk industri har til nå vært unntatt fra å betale fornybaravgift og samtidig opplevd nedadgående strømpriser.

Innmatingstariffene produsentene får er blitt redusert over tid, i takt med reduserte investeringskostnader for sol og vind. Mesteparten av fornybaravgiften husholdningene betaler i dag, skyldes derfor prosjekter som ble bygget i 2011 og 2012 da volumene var store og innmatingstariffene fortsatt var relativt høye. Disse installasjonene har rett til innmatingstariff i 20 år, så regningen tyske forbrukere må betale vil være betydelig i mange år fremover.

Mange tyskere er bekymret for kostnadene energiomleggingen innebærer. Den tyske regjeringen har likevel valgt å opprettholde de tyske energimålene, men har satt fokus på å begrense kostnadene. 11. juli i år ble følgende endringer vedtatt: Innmatingstariffer til ny produksjon skal fases ut innen 2018 og erstattes med et mer markedsbasert støttesystem, blant annet gjennom auksjonering av

⁶ I 2011 ble lokal kullproduksjon subsidiert med 1,9 milliarder euro i følge rapporten *Inventory of Estimated Budgetary Support and Tax Expenditures for Fossil Fuels 2013* (OECD, 2013). Kullsubsidien for steinkull skal fases ut innen utgangen av 2018.

innmatingstariffer. Samtidig skal en større andel av industrien betale fornybaravgift og unntaket vil bare gjelde for konkurranseutsatt industri. På denne måten spres kostnaden over flere brukere.

Selv om fornybarmålene står fast er usikkerhetsmomentene mange. Markedsprisen på kraft er lav, og gir svake incentiver til investeringer i for eksempel gasskraft - som kan sikre forsyningen når det ikke blåser og sola ikke skinner. Ifølge den tyske tenketanken Agora må Tyskland satse på en kombinasjon av ulike løsninger for å sikre et stabilt kraftsystem fremover: Regulering av etterspørsel, nettførsterkninger internt i Tyskland og mot andre land, flere ulike lagringsteknologier, muligheten til å begrense vind- og sol-produksjon i enkelte perioder samt utvikling av et kapasitetsmarked der kraftverkseiere får betalt for å «ligge på vent». Norge kan kanskje også spille en rolle fordi norsk vannkraft lagret i magasiner kan eksporteres ved manglende lokal produksjon fra sol og vind.

Tysklands er med sitt *Energiewende* et eksempel på land som har gått foran. Et sentralisert tysk kraftsystem basert nesten utelukkende på fossil kraftproduksjon og atomkraft er nå under full omlegging. Den tyske fornybarutbyggingen vil fortsette, men det er uklart hvor fort og utfordringene er fortsatt mange. I perioden 2008 til 2011 var Tyskland det landet i verden som kjøpte flest solceller (se Figur 2-3) og det tyske *Energiewende* har vært en av drivkreftene til at teknologier som var umodne for bare få år siden nå blir tatt i bruk verden over.

2.2.2 Fornybar kraftproduksjon - på vei mot et paradigmeskifte?

"We used to say some day solar and wind power would be competitive with conventional generation. Well, now it is some day."

- George Bilicic, Lazard Ltd. til Financial Times, september 2014

2.2.2.1 Sol og vind

I den siste rapporten fra FNs klimapanel fremheves avkarbonisering av kraftsektoren som en avgjørende forutsetning for at togradersmålet kan realiseres. Elektrisitet må få en større rolle som energibærer og kraften som produseres må være CO₂-fri. På dette området står Norge i en særstilling, ettersom nesten all vår kraftproduksjon allerede er fornybar. Vi tror likevel det er viktig å dvele ved omstillingen av kraftsystemene. Mye tyder på at vi kan være ved starten av et transformativt skifte, med paralleller til for eksempel utviklingen av mobiltelefoni.

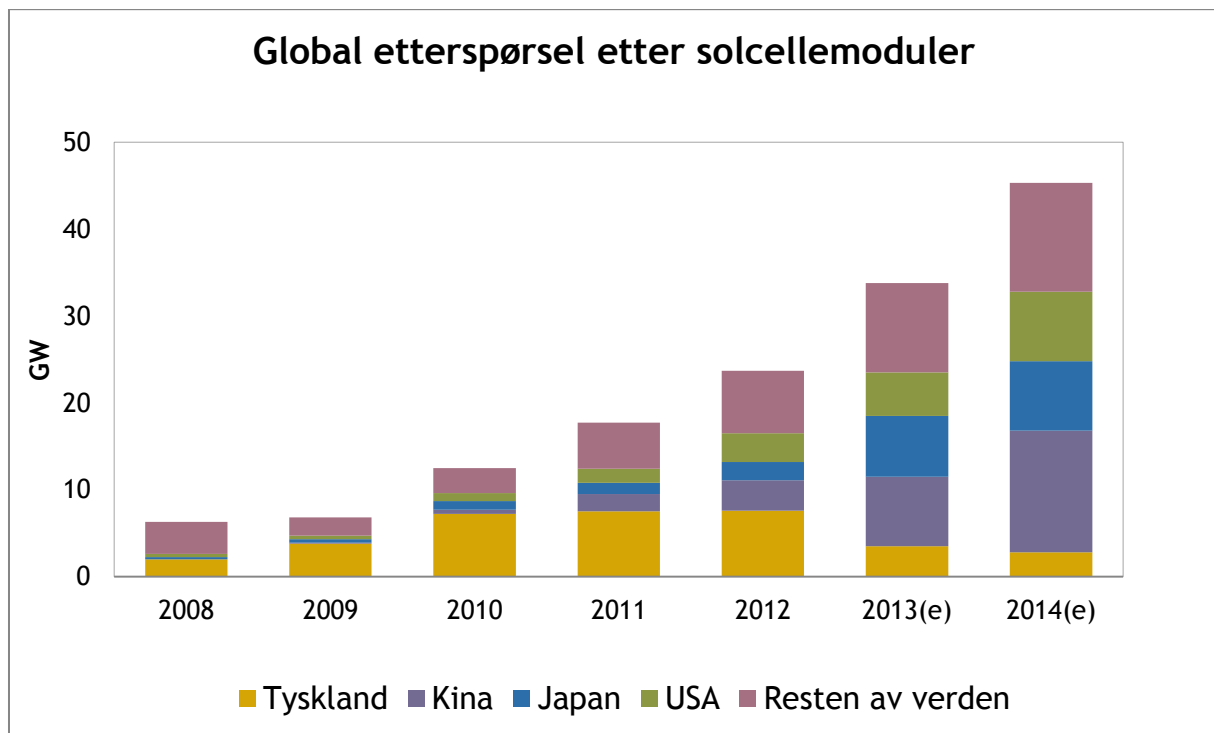
I 2013 var 22,1 prosent av den globale elektrisitetsproduksjonen fornybar; 16,4 prosent var fra vann, 2,9 prosent fra vind, 1,8 prosent fra biomasse, 0,7 prosent fra solceller (PV) og 0,4 prosent fra andre kilder som geotermisk og CSP (Concentrated Solar Power) (IEA, 2013a). Andelen fra sol og vind er fortsatt liten, men veksten i installert kapasitet har vært langt større enn forventet.

I september 2013 utga det amerikanske energidepartementet rapporten *Revolution Now - The Future Arrives for Four Clean Energy Technologies*. Her beskrives fire ulike teknologier som departementet mener er klare til å revolusjonere amerikansk energibruk; vindkraft på land, solkraft, LED-pærer og elektriske biler.

Amerikansk vindkapasitet er tredoblet siden 2008 og amerikansk vindkraft hadde i 2013 en samlet kapasitet tilsvarende 60 større atomkraftverk. Det amerikanske energidepartementet forventer at vind kan dekke opptil 20 prosent av elektrisitetsetterspørselen i 2030, forutsatt at myndighetene fortsetter å legge til rette for vindkraft (U.S. Department of Energy, 2013). I 2013 ble det satt "prisrekord" på vind. I enkelte delstater ble det inngått langsiktige kraftkontrakter der vind ble priset ned mot \$0,025 per kilowatttime, med andre ord ca 15 øre/kWh. Den lave prisen er delvis et resultat av ulike støtteordninger og skattefordeler. Ifølge energimyndighetenes beregninger er

verdien av de ulike støtteordningene i overkant av 9 øre/kWh, og uten slik støtte ville de beste langsiktige kontraktene vært priset ned mot 25 øre/kWh (U.S. Departement of Energy, 2014). (Til sammenligning var den gjennomsnittlige kraftprisen i Norge for kraftintensiv industri 29,3 øre/kWh første kvartal 2014 (SSB, 2014b)).

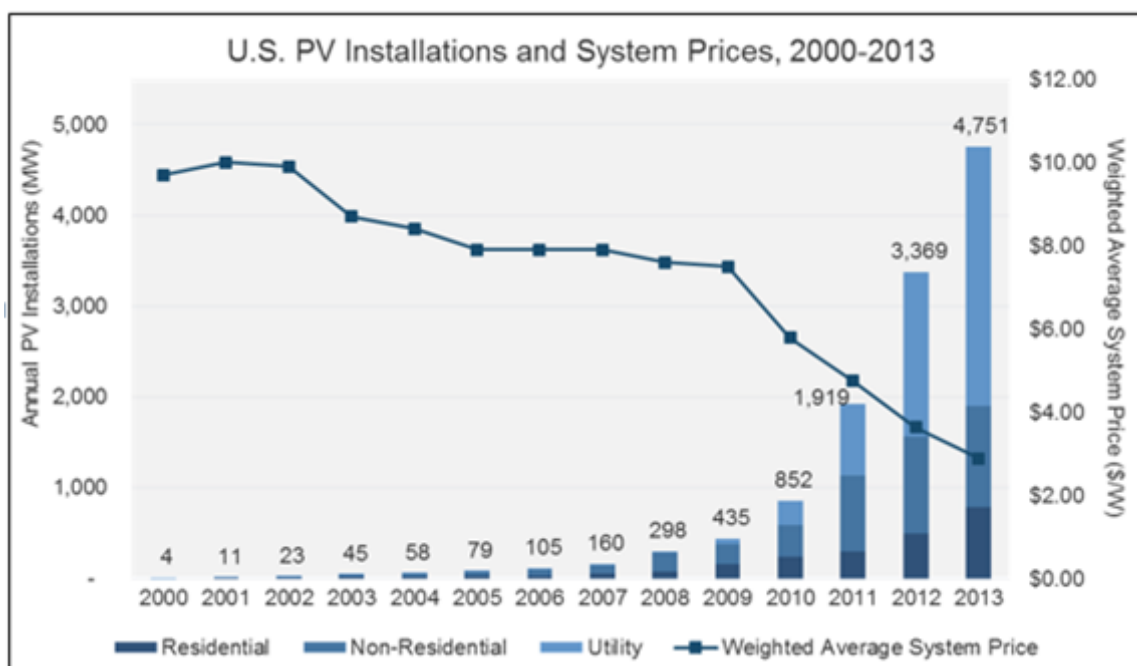
I Kina var 68 prosent av kapasiteten som ble installert i 2013 fornybar. Mesteparten av dette var vannkraft, med vind og sol hakk i hel. Bloomberg New Energy Finance forventer at innen 2020 vil mesteparten av ny installert kapasitet i Kina komme fra sol (Liebreich, 2014). Figuren under viser hvordan etterspørselen etter solceller har vokst siden 2008. Kina er i dag det landet som installerer mest sol, etterfulgt av USA, Japan og Italia. I perioden frem til 2013 var det tyske markedet det største. Felles for disse landene er at de har støtteordninger for sol.



Figur 2-3 Global etterspørsel etter solcellemoduler. Kilde: Solar PV Development: Lessons Learnt from Other Countries, Canadian Solar 2014.

Også i USA har sol «tatt av» de siste tre årene, og i slutten av 2013 var det installert 440 000 solanlegg. Fordi sol- og vindanlegg bare produserer når det er sol og vind, er andelen fornybar elektrisitetsproduksjon langt lavere enn andelen installert kapasitet, og sol dekker fortsatt bare en meget liten del av den amerikanske kraftetterspørselen. Både i California og på Hawaii har allikevel kraftproduksjonen fra solanlegg allerede blitt så stor at produksjonen av fossil kraft reduseres.

Prisen på solceller er halvert siden 2008 og figuren under viser den amerikanske nedgangen i prisen på installert sol og installert kapasitet (SEIA & GTM Research, 2014).



Figur 2-4 PV installasjoner i USA. Kilde: GTM Research U.S. Solar Market Insight Report.

Mesteparten av kostnadsreduksjonen så langt skyldes lavere priser på solceller. Det amerikanske energidepartementets program *Sunshot* har som mål å få kostnaden på solkraft ned til 0,06 \$/kWh (cirka 36 øre per kilowatttime) innen 2020 (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2014). På dette nivået vil sol kunne konkurrere med tradisjonell kraftproduksjon. *Sunshot*-programmet skal vare i 10 år og fokuserer på nettintegrasjon, lagringskostnader, kapitaltilgjengelighet, opplæring av installatører og amerikansk produksjon av solceller. Etter tre år er gjennomsnittsprisene på elektrisitet fra storskala solcelleanlegg allerede blitt redusert fra 0,21 \$/kWh til 0,11 \$/kWh.

2.2.2.2 Fornybar og desentralisert

Tradisjonelt har kraftforsyningen vært dominert av store sentraliserte enheter (typisk et kullkraftverk) som har produsert strøm og distribuert den enveis til kundene, enten det er husholdninger eller industri. Store selskaper, enten privat eller offentlig eid, har kontrollert denne vitale infrastrukturen. Disse sentraliserte kraftverkene suppleres nå i økende grad av småskala kraftproduksjon. Private husholdninger og bedrifter med solanlegg på taket produserer selv deler av sitt kraftbehov og selger samtidig strøm tilbake til nettet.

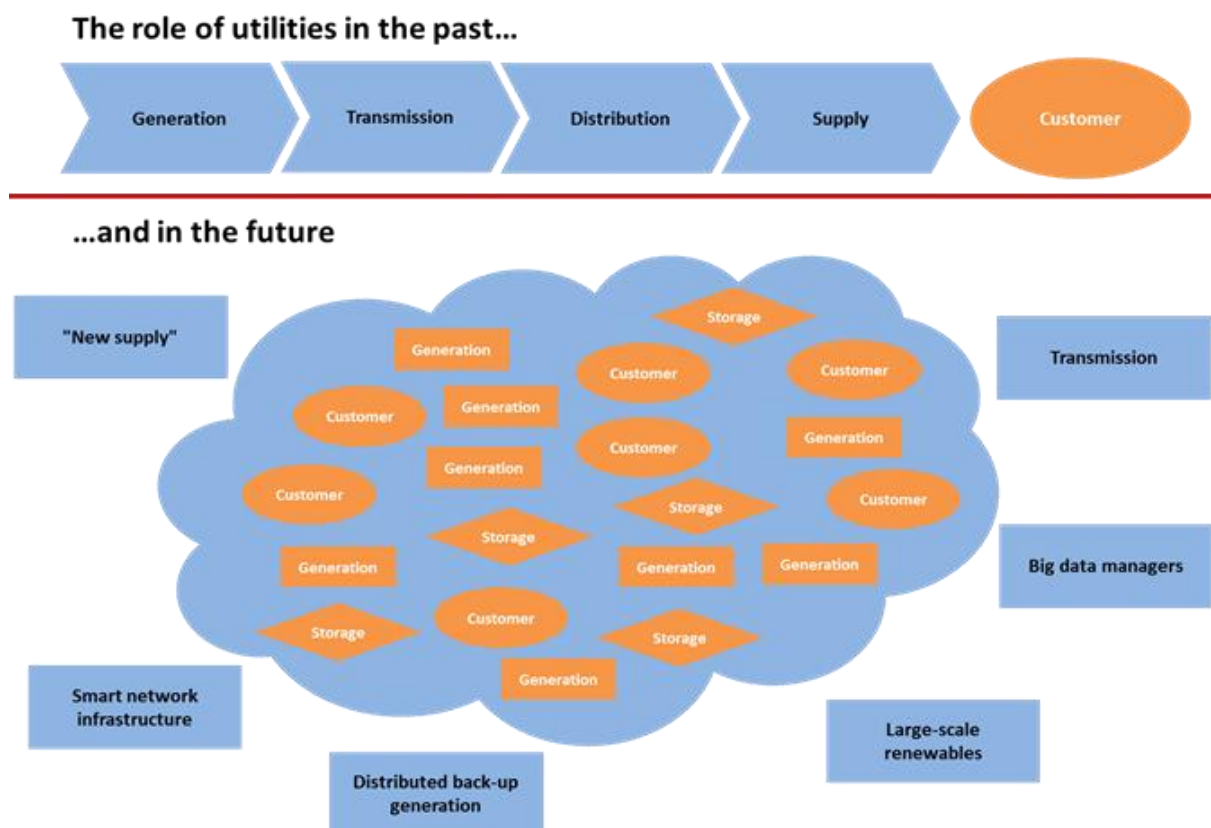
Egenprodusert kraft konkurrerer ikke med markedsprisen på strøm, men med prisen som forbrukere betaler for elektrisitet, som er langt høyere enn markedsprisen på grunn av tilleggskostnader som nettleie, skatter og avgifter. Stadig flere analysemiljøer ser for seg et «tipping point» der sol pluss lagring blir så rimelig at de som har mulighet til det installerer solanlegg på egne tak. I meglerhuset Morgan Stanley sitt mest optimistiske scenario, som forutsetter at sol fortsatt får skattefordeler, vil installert PV-kapasitet i USA øke fra dagens 12 GW til 415 GW i løpet av få år (Morgan Stanley, 2014a; Morgan Stanley, 2014b). En slik omlegging vil endre kraftsystemet i mange amerikanske stater fullstendig.

20. august 2014 sendte storbanken UBS ut et notat til sine kunder og store investorer der de argumenterer for at energisystemet i Europa er på vei mot dramatisk endring (UBS, 2014). UBS forventer at kombinasjonen av solceller på taket, batterier og el-biler vil lønne seg for forbrukere i Tyskland, Italia og Spania innen 2020 og at Frankrike og England ligger like etter. Ifølge bankens beregninger vil en husholdning som kjøper et solanlegg med 20 års levetid, et batteri og en elbil

med 10 års levetid, ha tilbakebetalt investeringen i form av reduserte el- og drivstoffkostnader i løpet av 7-11 år. Antagelsene bak denne analysen er som følger:

- UBS forventer at reguleringer og støttesystemer vil trigge rask vekst i elbilmarkedet i årene 2015-2020. Banken estimerer at det må selges 3,2 millioner elbiler globalt innen 2021 for at Europa, Kina og USA skal nå de mål de har satt for utslipp per kjørte kilometer - selv med effektivitetsforbedringer i bensin- og dieslbiler.
- Veksten i etterspørsel på elbiler vil medføre at kostnadene for litiumbatterier vil falle. Lavere batterikostnader vil øke etterspørselen etter både elbiler og batterier i husholdninger med solanlegg ytterligere, og banken forventer at batteriprisene vil falle fra \$360/kWh i 2013 til \$200/kWh i 2020 og helt ned til \$100/kWh innen 10 år.
- Etter 2020 vil elbilen konkurrere med fossilbilen på pris og usubsidiert etterspørsel vil drive veksten. Banken antar at 10 prosent av nybilsalget for personbiler i Europa vil være elbiler i 2025.
- Banken antar at prisen på solanlegg vil fortsette å falle med 4 prosent årlig og at fossilprisene vil øke med 1,5 prosent per år.

I et slikt scenario vil kombinasjonen av solanlegg, elbiler og batteri for ekstra lagring være økonomisk gunstig for svært mange europeere innen 2025 - uten subsidier. Scenarioet er kanskje noe optimistisk med hensyn på timing, men at kraftproduksjonen er i ferd med å desentraliseres er det ingen tvil om. Figuren under sammenligner fortidens «lineære» kraftsystem med et mulig framtidig system.



Figur 2-5 Fortidens kraftsystem (over) sammenlignet med framtidens kraftssystem (under). Kilde: UBS.

Det vokser altså frem et nytt kraftsystem som både er *fornybart* og *desentralisert*. Den desentrale produksjonen har i stor grad vært forbrukerdrevet og trenden i retning av større desentrale innslag

er meget sterk. Samtidig vil det være behov for stor sentralisert produksjon som kan sikre stabile kraftleveranser til for eksempel storbyer og kraftkrevende industri.

Myndighetenes rolle i dette skiftet er helt sentral, men tilstedeværelsen har ulike uttrykk. Da solanlegg var dyre og ble subsidiert inn i Tyskland gjennom feed-in tariffen som lå langt over markedsprisene for kraft, var myndighetenes rolle å sikre lønnsomhet for investeringer som var ønsket av politiske årsaker. Når solenergien blir billig, blir myndighetenes rolle å sikre at de etablerte aktørene ikke får urimelig sterk beskyttelse på nykommernes bekostning. Denne konflikten har for eksempel kommet til syne i flere amerikanske delstater, i Australia, og i flere søreuropeiske land.

Det er dag 1,3 milliarder mennesker i verden som ikke har tilgang på elektrisitet. I land med store behov for ny kraftforsyning kan utbygging av fornybar kraft i desentraliserte nett vise seg som en billigere og mer effektiv vei fremover enn store sentraliserte løsninger. En viktig årsak til dette er at utbygging av fornybar og lokal produksjon går raskere og er enklere å realisere enn store sentraliserte løsninger som har lang gjennomføringstid, krever store investeringer og mye nettutbygging.

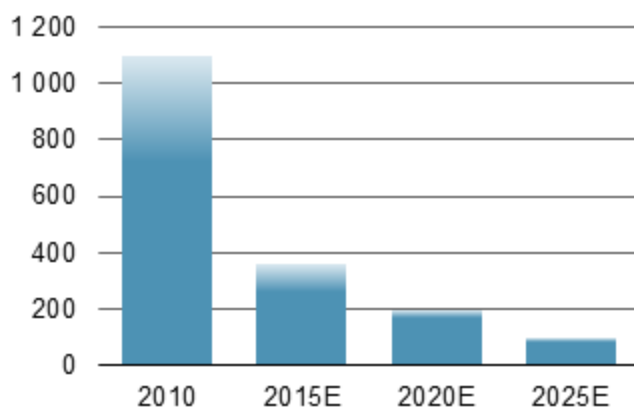
Et eksempel er India der omkring 400 millioner mennesker mangler tilgang på elektrisk strøm og de fleste av dem bor i landsbyer som ikke har tilgang til nett. Indias nyvalgte statsminister Narendra Modi har som mål at alle indiske hjem skal ha minst en lyspære innen 2019 - og at kraften skal komme fra sol (Katakey & Chakraborty, 2014).

2.2.3 Storskala elbilproduksjon

"Electric cars run on cheap, clean and increasingly green American energy."

- U.S. Department of Energy, september 2013

Elbiler nærmer seg bensin- og dieselmotorer i funksjon og etter hvert også i pris. I følge det amerikanske energidepartementet er kostnadene på batteriene som selges i stor skala blitt halvert i løpet av de siste fire årene. Det satses mye penger på utvikling av bedre og billigere batterier, med støtte fra amerikanske myndigheter. Energidepartementet viser til hvor viktig støtten fra føderale myndigheter var for den amerikanske skifergassrevolusjonen, og håper på den samme dynamikken i elbilmarkedet. Myndighetene har som mål å få batterikostnaden ned til \$125/kWh og at elbiler med rekkevidde på 450 kilometer skal være like billige som standard fossilbiler innen 2022. Figuren under viser prisutviklingen lagt til grunn i UBS sin rapport om sol og elbiler (UBS, 2014).



Figur 2-6 Historiske og estimerte batterikostnader. Kilde: Tesla, Umicore, UBS.

Elbilprodusenten Tesla har nettopp inngått en avtale med staten Nevada om bygging av en fabrikk som skal kunne levere 500 000 batterier i året innen 2020. Forventningene er at storskala produksjon vil redusere Teslas batterikostnader med 30 prosent. Dersom de klarer å oppnå en slik kostnadsreduksjon forventer meglerhuset Morgan Stanley at Tesla vil ha selge 7,2 millioner elbiler innen 2028. California har et satt eget mål om 1.5 millioner nullutslippsbiler innen 2025.

Kineserne satser også på utslippsfrie biler. Myndighetenes mål er å ha 5 millioner lavutslippsbiler (el-, hydrogen- og hybridbiler) på kinesiske veier innen 2020. I sommer ble det bestemt at ved kjøp av lavutslippsbiler slipper man å betale innkjøpsavgiften, som er på 10 prosent av kjøpsprisen. Denne ordningen skal vare til utgangen av 2017 (The Guardian, 10.07.14). I tillegg tilbyr myndighetene direkte subsidier til elbilkjøpere.

Muligheten for å bruke bilbatterier som «back-up» får stadig mer oppmerksomhet. Etter Fukushima-ulykken har Nissan solgt 2000 elbiler med såkalte vehicle-to-home systemer. Disse bilene har en ekstra software-pakke som gir brukerne muligheten til å ha elbilen som «reservekraft» ved strømbryt og til å koble elbilen rett til solcelle-anlegg på hustak. I framtiden er det kanskje «vehicle-to-grid» systemer som virkelig vil kunne skape endring: Flåter av el-kjøretøy vil kunne fjernstyres og batteriene vil levere systemtjenester ved behov. I første omgang er det trolig smart styring av når elbilen lades som blir viktig fordi dette vil kunne redusere behovet for investeringer i kraftnettet.

2.2.4 Økende bevissthet i finansverdenen

"Stronger political leadership and more ambitious policies are needed for us to scale up our investments."

- The 2014 Global Investor Statement on Climate, september 2014

I finansmiljøer verden over har tapene som investorer i fossil-baserte europeiske kraftselskap har opplevd som følge av veksten i sol og vindkraft fått stor oppmerksomhet. Tysklands *Energiewende* bekrefter allikevel det vi vet om transformativt skift - med raske omveltninger kommer uforutsigbarhet og uforutsette konsekvenser. Virksomhetens omstillingsevne er viktig med hensyn på framtidig konkurranseevne.

Et viktig utviklingstrekk de siste par årene har vært finansverdenens økte fokus på klima- og karbonrisiko samt at «grønne» investeringer blir stadig mer attraktive. Flere av de store internasjonale bankene har de siste årene gitt ut rapporter om økt risiko i fossile kraftselskap og ikke minst økt risiko ved kullinvesteringer. Den britiske banken Barclays mener for eksempel at amerikanske kraftselskapers obligasjoner er overpriset og at markedet ikke forstår «trusselen» som ligger i kombinasjonen av solanlegg på hustak og nye lokale lagringsalternativ. (Barclays forventer at solinstallasjoner pluss lagring vil lønne seg for husholdninger i staten New York allerede i 2018.) Et endret risikobilde betyr høyere risikopremie for fossile investeringer og fossilbaserte selskaper.

Stadig flere investorer etterspør tydeligere og mer langsiktig klimapolitikk som kan redusere risikoen ved å investere i lavutslippsteknologi og -infrastruktur. En gruppe på mer enn 340 institusjonelle investorer, som til sammen representerer 24 000 milliarder dollar, offentliggjorde i september en «Global Investor Statement on Climate» der de ber politikere verden over om å prise karbon og å redusere fossile subsidier. Disse innser at dersom vi ikke klarer å begrense global oppvarming vil dette ha stor negativ effekt på mange av deres investeringer.

Et annet område som illustrerer skiftet i finansmarkedene er fremveksten av et marked for grønne obligasjoner (green bonds). En grønn obligasjon er et rentebærende gjeldsbrev som er kommersielt

omsettbart i et annenhåndsmarked, men til forskjell fra en vanlig obligasjon garanterer utsteder at lånebeløpet benyttes til investeringer i miljøvennlig teknologi eller prosjekter. Grønne obligasjoner utgjør fremdeles en liten del av det totale obligasjonsmarkedet, men har vokst veldig raskt siden Verdensbanken utstedte den første grønne obligasjon i 2007. De fleste grønne obligasjonene utstedes nå av private selskaper og pensjonsfond, i tillegg til statlige investeringsfond. I 2013 utgjorde dette markedet i overkant av 10 milliarder dollar, mens det estimeres at markedet i 2014 vil være omtrent 50 milliarder dollar (The Economist, 05.07.14).

Den positive trenden er at karbonrisiko og klimarisiko er temaer som finansverdenen og næringslivet i økende grad er opptatt av. Det er grunn til å anta at denne oppmerksomheten vil tilta i styrke i årene fremover, både i lys av risikoen som ligger i klimaendringer, risikoen som ligger i klimapolitiske avgjørelser og ikke minst mulighetene det grønne skiftet medfører.

2.2.5 Utslippsbegrensninger for den amerikanske kraftsektoren

"We limit the amount of toxic chemicals like mercury, sulfur, and arsenic that power plants put in the air and water, but they can dump unlimited amounts of carbon pollution into the air. It's not smart, it's not safe, and it doesn't make sense."

- President Obama, mai 2014

President Obama har ikke støtte i kongressen for å innføre skatter eller reguleringer for å begrense amerikanske klimagassutslipp. Obama-administrasjonen har derfor valgt å bruke luftforurensningsloven (*the Clean Air Act*) som virkemiddel for å gjennomføre innstramninger i utslipps- og effektivitetsstandardene for kjøretøyer og til å begrense utslippene fra kraftsektoren. 2. juni 2014 la amerikanske forurensningsmyndigheter frem «the Clean Power Plan» med forslag til nye regler for utslipp av CO₂ fra amerikanske kraftproduksjon. Målet med regelverket er å redusere utslipp fra kraftsektoren med 30 prosent i forhold til 2005-nivå, innen 2030. I følge forurensningsmyndigheten tilsvarer dette utslippene fra 150 millioner biler. Helsekader som følge av forurensing fra kullkraftverk blir brukt som hovedargument for å begrense klimagassutslippene fra kraftsektoren (se faktaboks).

The Clean Power Plan

Kraftproduksjon er USAs største utslippskilde og står for 1/3 av amerikanske klimagassutslipp.

De foreslåtte reglene har hjemmel i «the Clean Air Act». (I april 2007 bestemt USAs høyesterett at the Clean Air Act også omfatter klimagassutslipp.) De foreslåtte reglene vil også redusere utslippene av sot og annen forurensning, særlig fra kullkraftverk, og ifølge Obama-administrasjonen vil regelverket forhindre opptil 150 000 astma-anfall, 6 600 «premature deaths» og 490 000 sykedager i året når utslippskuttene er oppnådd. I følge EPA vil USA spare 7 dollar i helseutgifter for hver dollar som investeres som følge av det foreslåtte regelverket.

Hver delstat har eget reduksjonsmål - som er satt på bakgrunn av statens produksjonsmiks. Det foreslåtte regelverket er svært fleksibelt og legger opp til at statene selv bestemmer hvordan målene skal nås basert på en lang meny av ulike tiltak og virkemidler. Disse inkluderer blant annet: Tiltak som reduserer utslippene ved de enkelte kullkraftverk, overgang til gasskraft, ny fornybar kraftproduksjon, og virkemidler som reduserer etterspørselen etter kraft og øker energieffektiviteten. Forslaget åpner også for virkemidler som karbonskatter og kvotehandling mellom ulike delstater.

I følge EPAs beregninger vil forslaget ikke øke strømutgiftene for forbrukerne, men redusere dem med 8 % som følge av forventede energieffektiviseringstiltak og redusert etterspørsel. Det nye regelverket er nå på høring og endelige regler forventes offentliggjort i juni 2015. Deretter vil delstatene selv utarbeide gjennomføringsplaner for hvordan egen delstats mål skal nås.

2.2.6 Kullforbruk i Kina

"We will resolutely declare war against pollution as we declared war against poverty."

- Statsminister Li Keqiang, mars 2014

Kina er verdens største utslippsland. Dette skyldes både landets store befolkning og at Kina produserer en stor andel av varene som forbrukes i Vesten.

Flere miljøer har i det siste satt spørsmålstegn ved den forventede veksten i kinesiske klimagassutslipp som ligger inne i de globale utslippsframskrivningene. Utslippsveksten kan være i ferd med å flate ut og det er stor usikkerhet, og uenighet, om når kinesisk etterspørsel etter kull, hovedkilden til kinesiske utslipp, vil nå toppen. Miljøene som tror på lavere kullforbruk enn tidligere forventet baserer dette på følgende hovedtrender:

2.2.6.1 Lokal luftforurensning og vannmangel

Problemet med dårlig luftkvalitet er nå så alvorlig at det er kommet på toppen av den politiske agendaen og behovet for å redusere lokal luftforurensning er en av hovedbegrunnelsene for Kinas mål om å redusere kullforbruk og utslipp fra transportsektoren. Vekst med samme «kullintensitet» som i dag er ikke bærekraftig hverken for lokal luft eller for klima. Kullkraftverk, transport, stål og sementproduksjon er hovedkildene til farlige partikkelutslipp. Kinesiske myndigheter har satt et mål om at alle store byer skal redusere partikkelutslippene kraftig innen 2030. I følge Deutsche Bank vil det være umulig for Kina å nå dette målet med dagens forventede vekst i kullforbruk og transportsektoren - selv med langt strengere utslippskrav for industri, kullkraftverk og transport (Deutsche Bank, 2013). Økt vannmangel er også et problem som vil påvirke framtidige utslipp. Kullproduksjonen krever mye vann og vannmangel har allerede blitt en begrensende faktor for enkelte mindre gruver.

2.2.6.2 Vekst i annen kraftproduksjon

At solenergi for alvor begynner å gjøre sitt inntog i Kina vises gjennom veksten i utbygging de siste årene. Det er estimert at Kina installerte omtrent 12 GW i 2013 (EPIA, 2014), mens det for noen år siden nesten ikke ble bygget noen solanlegg. Samtidig er Kina blitt verdens største produsent av solceller. Som tidligere nevnt har prisene på både sol og vindkraft falt dramatisk de siste årene. Kina har store områder som er meget godt egnet for både sol og vindkraft og i 2012 økte den kinesiske veksten i kraftproduksjon fra andre kilder enn kull mer enn veksten i kraftetterspørselen (Carbon Tracker & ASrIA, 2014). Kina har en stor andel gamle kullkraftverk som på sikt må legges ned og man kan se for seg at det vil bli billigere å erstatte denne produksjonen med fornybare kraftkilder enn med nye kull- eller gasskraftverk. Analysemiljøer som *Bloomberg New Energy Finance* og *Bernstein* forventer kraftig vekst i antall sol- og vindinstallasjoner og at installert kapasitet vil overstige myndighetens mål.

2.2.6.3 Redusert økonomisk vekst og lavere energiintensitet

Den årlige økonomiske veksten i Kina lå på 10 prosent i perioden 1990-2011. Veksten falt til 7,8 prosent i 2012 og 7,7 prosent i 2013 (Carbon Tracker & ASrIA, 2014). Flere miljøer forventer at veksten vil falle ytterligere grunnet faktorer som aldrende befolkning og at trenden med at landsbybefolkningen flytter til storbyer avtar. I tillegg forventer mange at framtidig vekst vil bli mindre energiintensiv. Industrisektoren i Kina er åtte ganger så energiintensiv som servicesektoren og økt velstand og overgang til en mer servicebasert økonomi vil redusere behovet for ny kullkraft (Mackenzie, 2013). Kinesiske myndigheter har også signalisert at det fremover er viktig å forbedre "kvaliteten" på veksten og øker nå fokuset på bærekraft og lavere energiintensitet.

2.2.7 Økt behov for energisikkerhet

De aller fleste land i verden er nettoimportører av energi. Økte priser på olje og gass samt behovet for energisikkerhet øker presset for politiske beslutninger som sikrer energiuavhengighet.

En nederlandsk studie av EU-lands klimastrategier mot 2050 så blant annet på motivasjonen bak utslippsmålene (Notenboom, Boot, Koelemeijer, & Ros, 2012). Figuren under viser rangeringen av drivkrefter for en lavutslippsstrategi i disse landene. Energisikkerhet er blant de viktigste drivkreftene for alle landene og det bare i ett land at utslippsreduksjoner faktisk rangeres høyest.

Impression of the order of drivers underlying national plans for a decarbonisation path

Belgium	1. Security of supply 2. Affordability 3. Greenhouse gas mitigation
Denmark	1. Security of supply 2. Greenhouse gas mitigation 3. Industrial opportunities 4. Affordability
France	1. Affordability 2. Security of supply 3. Industrial opportunities 4. Greenhouse gas mitigation
Germany	1. Industrial / employment opportunities 2. Security of supply 3. Greenhouse gas mitigation 4. Affordability 5. Ethical issues
Netherlands	1. Affordability 2. Industrial opportunities 3. Greenhouse gas mitigation 4. Security of supply
United Kingdom	1. Greenhouse gas mitigation 2. Affordability 3. Industrial opportunities 4. Security of supply

Figur 2-7 Rangering av drivkrefter for overgangen til et lavutslippssamfunn. Kilde: (PBL, 2012).

Dagens situasjon i Europa er et eksempel på at energisikkerhet er kommet høyere opp på den politiske agenda. EU-kommisjonen la nylig frem "plan for trygg energiforsyning" etter anmodning fra Det europeiske råd, med bakgrunn i Ukraina-krisen (European Commission, 2014a). 53 prosent av den energien som konsumeres i EU i dag er importert - 88 prosent av oljen og 66 prosent av naturgassen importeres. (39 prosent av gassen kommer fra Russland, 34 prosent fra Norge og 14 prosent fra Algerie.) Seks av EUs medlemsland har Russland som eneste leverandør av gass og tre av disse benytter naturgass til mer enn en firedel av sitt totale energibehov (europa.eu, 2014).

EU-kommisjonen viser til koblingen mellom økt fornybar produksjon og økt energisikkerhet. Kommisjonen anbefaler at man oppretter en felles strategi med mer samarbeid på regionalt og europeisk nivå samt forbedrer energi-infrastrukturen mellom landene og at forsyningssikkerheten økes ved å importere energi fra flere ulike land. I tillegg er reduksjon av det totale energibehovet et effektivt tiltak og medlemslandene oppfordres derfor til å forsere gjennomføringen av Energieffektiviseringsdirektivet.

2.2.8 Ressursknapphet

I det forrige århundret ble antall verdensborgere firedoblet. Teknologiutvikling og stadig nye ressursfunn førte til prisnedgang på mange viktige råvarer, som igjen førte til økonomisk vekst. Viktige ressurser som vann var gratis eller subsidiert, og man måtte ikke betale for verken klimagassutslipp eller annen forurensning. Lave kostnader ga få intensiver til effektivitet.

Et eksempel er transportsystemet. De aller fleste biler er ikke i bruk 95 prosent av tiden, og når de er på veien sitter det som oftest en person i en bil som er laget for å transportere fem (Heck & Rogers, 2014). Bare en brøkdel av energien i bilens drivstoff blir brukt til å få hjulene til å gå rundt. Motorveiene våre er enten nesten tomme eller for fulle. Potensialet for bedre ressursutnyttelse er med andre ord enormt, samtidig som etterspørselen etter transporttjenester øker i takt med voksende global middelklasse. Tilsvarende ineffektivitet finnes i alle sektorer. For eksempel går en fjerdedel av verdens matproduksjon tapt på veien fra bonden til bordet.

Verdens ressursituasjon er nå i endring. Økende knapphet gjør at prisene på råvarer som gull, kobber, aluminium og stål har vært økende de siste ti årene. Volatiliteten i matpriser økte til 22,4 prosent i perioden 2000-2012, tiåret før var prisvolatiliteten bare 7,4 prosent. Den økende ustabiliteten i pris er en indikasjon på at verdens naturressurser er under stadig økende press. Dette gjelder både vann, biomasse, fiskebestander og økosystemer (UNEP, 2014). Samtidig er etterspørsel etter vann, energi, mat og råvarer til industrien stadig voksende, i takt med befolkningsvekst og økonomisk vekst.

Konsulentselskapet McKinsey snakker om behovet for en «ressursrevolusjon». Vi må tenke sirkulært - produkter må gjenbrukes eller brukes som innsatsfaktorer i nye produkter. Innsatsfaktorer det er knapphet på må erstattes med alternativer som er billigere og bedre, samtidig som produksjonsprosesser optimaliseres. Avfall, eller «ressurser på avveie», må reduseres til et minimum i alle ledd. McKinsey tror ressurseffektivitet er avgjørende for framtidig konkurransekraft. EU-kommisjonen jobber med et felles rammeverk for Europa som skal legge til rette for en sirkulær økonomi og i juli la kommisjonen rammene i dokumentet *Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe*. Den sirkulære økonomien kjennetegnes av at produkter designes med tanke på gjenbruk og resirkulering. Dette vil kreve endring og innovasjon gjennom hele verdikjeden.

Ressursknapphet kan være en effektiv driver for omlegging, men produktivetsforbedringene vi trenger for å sikre en bærekraftig vekst er store. Økende bevissthet både hos myndigheter, forbrukere og ikke minst i næringslivet blir avgjørende. Vi må frakoble økonomisk vekst fra behovet for stadig nye råmaterialer og vekst i energibehov.

De store effektiviseringsmulighetene ligger kanskje i å lage helt nye produkter og løsninger: El-bilen er langt mer effektiv enn fossilbilen og CD-en er erstattet med muligheten til å kjøpe den ene låten du egentlig ville ha - rett fra nettet. Framtidens oppvaskmaskiner og varmtvannsberedere vil slå seg på når elprisene er lavest, og elprisene vil variere kontinuerlig for å gi de prissignalene som trengs for å sikre effektiv energibruk. Mulighetene for selskaper som kan levere nye typer produkter og ikke minst nye løsninger er enorme.

En stor andel av verdens råvarer går til bilindustrien. Økende råvarepriser er utfordrende og sikker tilgang på viktige råvarer får stadig mer fokus. Samtidig fører skraping av eldre biler til mellom 8 og 9 millioner tonn ekstra avfall i EU hvert år (European Commission, 2014b). Gjenbruk er en opplagt løsning. I Renault's fabrikk i Choisey-le-Toi er det nettopp dette som finner sted. Nye bildeler lages av gamle. På denne måten reduseres forbruket av vann med 80 prosent, energi med 88 prosent og forbruket av kjemikalier med 92 prosent (Ellen MacArthur Foundation, 2013). I følge rapporten *Better Growth Better Climate* (The Global Commission on the Economy and Climate, 2014), er USA verdens største gjenbruksprodusent. Denne industrien vokste med 15 prosent fra 2009 til 2011, har 180 000 ansatte og allerede en omsetning på 43 milliarder dollar i året.

2.2.9 Klima høyere på den politiske agenda

"The person who I consider to be the greatest president of all time, Abraham Lincoln, was pretty consistent in saying, 'With public opinion there's nothing I cannot do, and without public opinion there's nothing I can get done,' and so part of my job over these next two and a half years and beyond is trying to shift public opinion."

- President Obama, juni 2014

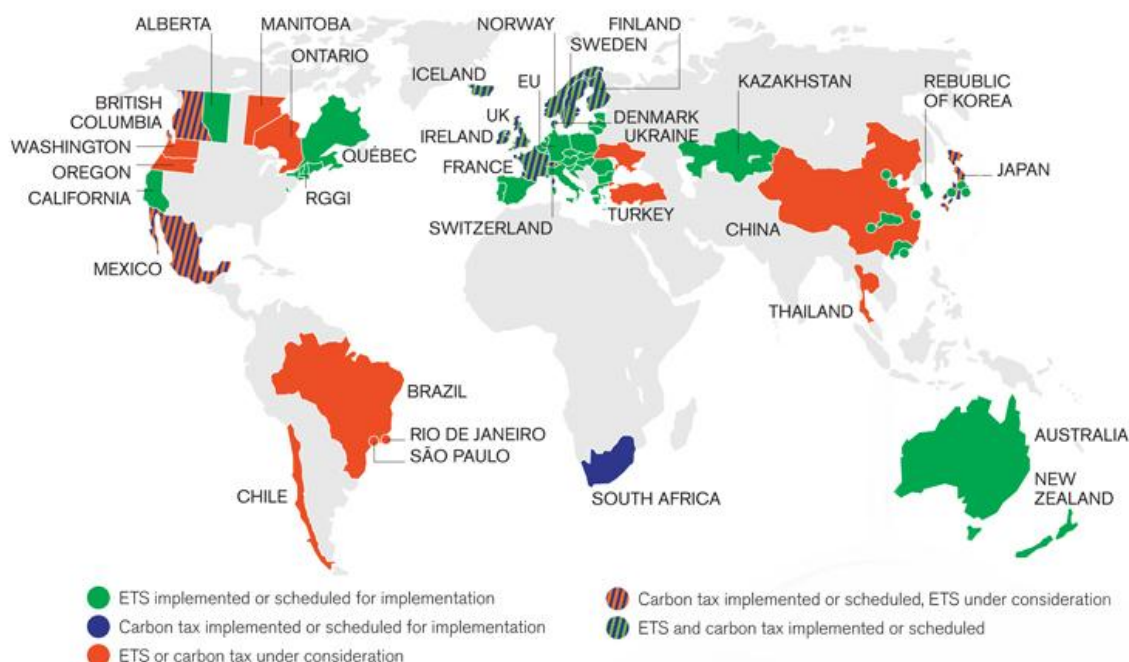
En viktig driver vi ser er økende bekymring og engasjement som følge av at klimaproblemene i økende grad påvirker menneskers liv. Dette er et viktig premiss for å få aksept for å innføre nødvendige tiltak og virkemidler og økende bekymring representerer dermed en positiv trend.

Selv om det er vanskelig å få gjennomslag for klimapolitikk i mange land, har klimaspørsmålet en høyere plass på den politiske agendaen enn tidligere. Flere land har opprettet egne klima-departementer eller integrert klima som en egen del i eksisterende miljø- eller energi-departementer. Klimapolitikken har også spredt seg fra det nasjonale nivå til regional- og lokalpolitikk. I tillegg settes klimaspørsmålet på dagsorden gjennom internasjonalt samarbeid på et sub-nasjonalt nivå, for eksempel gjennom samarbeidet mellom verdens største byer kalt C40.

En annen positiv utvikling er at stadig flere land og regioner har innført eller planlegger å innføre kvotehandelssystemer. Dette kan bidra til en "nedenfra-og-opp" dynamikk som gradvis kan gjøre at store deler av de globale utslippene i enkelte bransjer møter en karbonpris.

Et viktig signal er blant annet Kinas planer om et nasjonalt kvotesystem, med planlagt oppstart i løpet av dette tiåret. Kina har siden 2011 arbeidet med å utvikle sju pilotkvotesystemer og erfaringen fra disse skal tas med inn i et nasjonalt system. Seks av pilotene er allerede i drift med et samlet omfang på omtrent 1 milliard tonn CO₂-ekvivalenter. Samlet sett betyr dette at Kina nå huser verdens nest største kvotesystem etter det europeiske kvotesystemet. Kvoteprisen i det første året (2013) lå mellom 20 og 120 kroner i de forskjellige provinsene.

Samtidig har også andre land og stater som Sør-Korea, New Zealand, California, Quebec og Kazakhstan innført eller har planer om å innføre kvotesystemer. Tilsvarende trend ser vi for innføring av karbonskatter. Til sammen er ca 12 prosent av verdens utslipp underlagt karbonprising (World Bank; Ecofys, 2014). At en stadig større andel av de globale utslippene er dekket av kvotesystem eller en annen form for karbonprising bidrar til at problematikken rundt karbonlekkasje reduseres.



Figur 2-8 Global karbonprising. Kilde: Verdensbanken

Innføringen av karbonprising er et eksempel på at den nasjonale klimapolitiske utviklingen ligger i forkant av en internasjonal klimaavtale. Flere av disse kvotehandelssystemene er etablert på delstatsnivå og illustrerer i så måte også at den klimapolitiske utviklingen i noen tilfeller har kommet lenger på lokalt nivå enn nasjonalt.

Vi ser at klimaproblematikken i økende grad integreres i beslutninger på ulike politiske og samfunnsmessige nivåer og ikke minst i næringslivet. En slik integrering av klimaproblemet i alle typer beslutninger er en av nøklene til den fundamentale endringen som kreves.

På det mellomstatlige plan spiller de internasjonale klimaforhandlingene en sentral rolle, men det er også økt samarbeid direkte mellom enkelte land og regioner. For eksempel har USA og Kina nylig inngått åtte samarbeidsavtaler om teknologiutveksling innenfor ulike områder. Et nærmere samarbeid på klimaområdet mellom verdens to største utslippsland kan være nøkkelen både til teknologiutvikling og til å få på plass en solid internasjonal klimaavtale.

2.2.10 Nasjonale langsiktige utslippsmål

En del land har allerede satt ambisiøse klima- og energimål for å sikre overgangen til et lavutslippssamfunn. Noen eksempler fra Europa er beskrevet under. Det er også andre land og regioner som har ambisiøse klimamål, men vi har fokusert på europeiske land gitt Norges nærhet til disse landene når det gjelder økonomi, handel og klimapolitikk.

2.2.10.1 EU

EU (EU-28) har i perioden 1990–2012 redusert utslippene av klimagasser med 19,2 prosent⁷. I samme perioden økte verdiskapningen i EU med 41 prosent (World Bank, 2014).

⁷ Inkluderer ikke opptak og utslipp fra skog, arealbruk og arealbruksendringer, samt internasjonal luftfart og shipping.

EU vedtok en omfattende klima- og energilovgivning i 2009 som omfatter mål og virkemidler for EU og for medlemslandene. Fram mot 2050 skal EU redusere utslippene av klimagasser med 80-95 prosent sammenliknet med nivået i 1990. Minst 80 prosent skal tas som utslippsreduksjoner i EU, mens resten av intervallet kan dekkes gjennom bruk av fleksible mekanismer (finansiere utslippsreduserende tiltak i andre land).

EUs klimapakke for 2030

EU forbereder nå nye mål og virkemidler for perioden etter 2020. I følge Kommisjonens forslag fra 3. mars 2014 skal EU redusere utslippene med 40 % innen 2030. I forslaget fra Kommissjonen forutsettes det at 43 % av utslippskuttene tas i kvotepliktig sektor mens 30 % tas i ikke-kvotepliktig sektor gjennom en byrdefordeling. Alle disse utslippsreduksjonene forutsees å tas i EU uten bruk av internasjonale kreditter. Det er foreslått videreført felles mål for å fremme fornybar energi og energieffektivisering. Det forventes at beslutning om overordnede mål (utslipp, fornybar, energieffektivisering) tas på rådsmøtet 23.-24. oktober

2.2.10.2 Tyskland

Tysklands utslipp falt med 25 prosent fra 1990 til 2012⁸, og Tyskland har satt mål om å redusere sine utslipp av klimagasser med 40 prosent fra 1990 til 2020. Tysklands offisielle 2050-mål er å kutte klimagassutslippene med 80 til 95 prosent sammenlignet med 1990-nivået, og å øke andelen av elektrisitetsforbruk som kommer fra fornybare energikilder til 80 prosent. I tillegg skal energiforbruket halveres.

Tyskland i 2050: 1 tonn CO₂-ekvivalenter per innbygger per år

Tyske energimyndigheter har gjennomført en studie der de ser på mulighetene for å kutte klimagassutslipp ned til ett tonn per innbygger innen 2050. Studien konkluderer med at et lavutslippssamfunn med kun ett tonn CO₂-utslipp per innbygger i 2050 er teknisk mulig. Dette tilsvarer en reduksjon i klimagassutslippene på 95 %. Studien skisserer sektor for sektor hvordan utslippene kan reduseres. Studien gir imidlertid ingen indikasjon på hvor sannsynlig det er at denne utviklingen kommer til å skje, siden den begrenser seg til hva som er gjennomførbart ut fra et teknologiperspektiv.

Lavutslipps-scenariet legger til grunn at Tyskland også i 2050 er et høyt utviklet industrisamfunn, og at omleggingen ikke krever en radikal endring av dagens forbruksmønster og livsstil. Omleggingen baseres på stortiltet produksjon av fornybar kraft, hydrogen og metan. Hydrogen og metan brukes både i industrien og i transportsektoren. Ifølge studien vil produksjonen av metan og hydrogen i stor skala også kreve stortiltet import av fornybar kraft. Studien skisserer dessuten hvordan klimagassutslipp fra sektorene avfall, landbruk og private husholdninger kan reduseres betraktelig innen 2050.

Kilde: *Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050* (UBA, 2014).

2.2.10.3 Storbritannia

Storbritannias utslipp av klimagasser er redusert med 25 prosent fra 1990 til 2012⁹. Nedgangen skyldes blant annet overgang fra kull til naturgass i kraftproduksjonen, samt tiltak i industrien.

⁸ Inkluderer ikke opptak og utslipp fra skog, arealbruk og arealbruksendringer.

⁹ Inkluderer ikke opptak og utslipp fra skog, arealbruk og arealbruksendringer.

Storbritannia har satt som mål at utslippene av klimagasser skal reduseres med 80 prosent fra 1990 til 2050. Målet er forankret i en egen klimalov som blant annet forplikter regjeringen til å utarbeide karbonbudsjetter for framtidige 5-års perioder. Det fjerde og nyeste karbonbudsjettet gjelder for perioden 2023-2027 og innebærer at de britiske klimagassutslippene reduseres med 50 prosent innen 2027 sammenliknet med 1990. Det åpnes for bruk av internasjonale kreditter i måloppnåelsen. I følge klimaloven skal det settes en grense for bruken av internasjonale kreditter senest 18 måneder forut for hver karbonbudsjettperiode.

UKs "Carbon Plan"

Som en oppfølging av Storbritannias klimalov utarbeidet UKs Department of Energy and Climate Change en plan for hvordan målene i klimaloven skal oppnås. Denne planen viser blant annet forventninger til utslippskutt i ulike sektorer. For eksempel forventes det at industriutslippene skal reduseres med 70 % fra 2009-nivå innen 2050. Det er antatt at dette krever 40 % reduksjon i energiintensiteten og at over halvparten av energien er basert på bioenergi eller elektrisitet. I tillegg forventes CCS å spille en viktig rolle i industrien og dekke så mye som 1/3 av industriutslippene innen 2050.

I transportsektoren er forventningen tilnærmet nullutslipp fra nesten all veitransport innen 2050. Man har ingen klar teknologistrategi på dette tidspunkt da det fremdeles ansees som uklart hvilke teknologier som vil representere det mest kostnadseffektive alternativet.

Kilde: *The Carbon Plan: Delivering our low carbon future* (Department of Energy and Climate Change, 2011).

2.2.10.4 Danmark

Danmark har i perioden 1990–2012 redusert utslippene av klimagasser med 24 prosent, blant annet som følge av økt fornybarandel i kraftproduksjonen.

Den danske regjeringen la fram sin klimaplan i 2013. Hovedmålet er 40 prosent¹² utslippskutt i perioden 1990–2020, som et bidrag til EUs langsiktige mål om 80-95 prosent kutt i 2050. Det er ikke formulert et spesifikt mål for utslippskutt for 2050, men hele Danmarks energiforsyning, inklusive transportenergiforbruket skal være dekket av fornybar energi i 2050. I tillegg spesifiseres det at Danmarks langsiktige mål er å bidra til EUs mål om 80-95 prosent utslippskutt innen 2050.

2.2.10.5 Sverige

Sveriges utslipp er redusert med 21 prosent i 2012 sammenliknet med 1990¹⁰. Utslippsreduksjonene er hovedsakelig en følge av en økt fornybarandel i energi- og industrisektoren.

Sverige har en langsiktig "nettonull utslippsvisjon" fram mot 2050 og vil redusere utslippene i 2020 med 40 prosent sammenliknet med 1990. Bruken av internasjonale kreditter er ikke kvantifisert i den foreløpige underlagsrapporten for en 2050-strategi. Det svenske 2020-målet gjelder kun for den delen av økonomien som ikke er omfattet av EUs kvotesystem og ekskluderer utslipp og opptak fra skog (om lag 30 prosent av Sveriges utslipp er kvotepliktige). Sverige har som ledd i sin politikk også angitt rammene for bruk av internasjonale karbonkreditter for å oppfylle målet (inntil 6,7 millioner tonn, tilsvarende en tredjedel av det samlede reduksjonsmålet, for 2020).

¹⁰ Inkluderer ikke opptak og utslipp fra skog, arealbruk og arealbruksendringer.

2.3 De positive trendene må forsterkes

"There is no single "right answer" for which policy instrument should be used to foster low-carbon innovation."

- The New Climate Economy Report, september 2014

Trendene beskrevet over er sterke nok til at begrepet "business as usual" ikke lenger gir mening for energisektoren. Når meglerhuset Morgan Stanley analyserer de tradisjonelle kraftselskapene, priser de allerede inn at veksten i kraftsektoren i syv amerikanske stater mest sannsynlig vil bli dekket av solkraft. For bare fem år siden var dette nærmest umulig å forestille seg. Men, endringene vi ser er langt fra sterke nok til å nå togradersmålet. De må forsterkes. Her er det de politiske myndigheter som har nøkkelrollen. Følgende blir viktig:

Samspill mellom myndigheter og marked

Klima- og energiløsninger utvikles i et samspill mellom myndigheter og marked. Myndighetene må gi retning og markedsaktørene vil respondere når de politiske signalene og/eller de økonomiske incentivene er tilstrekkelig sterke. Risikoen forbundet ved omlegging er stor, og myndighetene må søke å redusere risikoen mest mulig på de områdene der handling ønskes.

Fremdriften i klimaforhandlingene er avhengig av at noen land og regioner går foran og utvikler klimapolitikken. Da kan andre kopiere politikk som virker etter hensikten og unngå politikk som ikke virker. Så lenge klimapolitikken ikke er like ambisiøs i alle land og regioner vil det være risiko for lekkasjeeffekter. Eksempler på lekkasjeeffekter er utflytting eller omfordeling av industri til områder med mindre ambisiøs klimapolitikk. Politikk og virkemidler som tar hensyn til at slike effekter forekommer kan være nødvendig i en overgangsfase.

Kvotemarkeder og karbonprising

Mange mener at dersom verden skal lykkes med å redusere utslippene i tråd med togradersmålet, må det etableres en internasjonal pris på utslipp av karbon. Det er en sterk trend i retning av mer karbonprising, men lite tyder på at det i nærmeste framtid vil oppstå en felles global karbonpris gjennom et fremforhandlet utslippstak. Regionale karbonmarkeder er i mellomtiden gode alternativ, det er også karbonskatter og andre mekanismer som setter en pris på klimagassutslipp.

Fortsatt støtte til fornybar energi

Selv om prisene på sol- og vindkraft har falt dramatisk de siste årene er det fortsatt behov for virkemidler som sikrer storskala innfasing av disse teknologiene i land med høy andel fossil kraftproduksjon. Det internasjonale energibyrået IEA understreker dette i sin Medium Term Renewable Energy Market for 2014 som ble publisert 28. august. IEA peker på barrierer som høye finansieringskostnader og tilgangen på kapital, samt mangel på nettinfrastruktur som kan ta imot store volumer variabel kraftproduksjon.

Utfasing av fossile subsidier

I store deler av verden er subsidiering av fossil energi både en stor byrde for budsjettene og et hinder for effektiv energibruk. Programmer for reduksjon og utfasing av fossile subsidier bør stimuleres og støttes.

Direkte reguleringer

Stadig strengere standarder for biler, bygg, kraftverk og industri blir viktige virkemidler for å redusere energibruken og stimulere innovasjon. Slike standarder er ikke minst viktige for å utløse

det betydelige energieffektiviseringspotensialet som så langt ikke har blitt utnyttet. Reguleringer som holder tritt med den raske omleggingen som må skje i kraftmarkedene blir også viktig.

Forskning, utvikling og samarbeid

Forskningsinnsats er viktig, både når det gjelder teknologi, økonomi og andre samfunnsmessige forhold. Målrettede og langsiktige forsknings- og utviklingsprosjekter må til innen lavutslippsteknologier som for eksempel fornybar energi, lagring, CCS og transport. Samarbeid både mellom privat og offentlig sektor og på tvers av sektorer og land blir viktig. Det offentlige har også en viktig rolle å spille som innkjøper når nye teknologier trenger støtte i tidlig fase.

Bærekraftige byer

Bærekraftig byutvikling vil bli avgjørende for å nå togradersmålet. Her har både nasjonale og lokale myndigheter et spesielt ansvar. Framtidsrettet byplanlegging må sikre at framtidens byer er kompakte, energi- og transporteffektive.

"Bo tett, kjør kollektivt og still krav til bygninger."

- Jens Stoltenberg, september 2014 ved lansering av The New Climate Economy Report

3. Norges utslippssituasjon

3.1 Innledning

I de sektorvise tiltaksanalysene i kapittel fire antas det at dagens næringsstruktur forblir mer eller mindre uendret, og tiltakene måles mot en referansebane som er basert på de nasjonale framskrivingene av utslipp til luft som ble publisert i Perspektivmeldingen 2013 (PM2013). Samtidig sannsynliggjør de globale trendene beskrevet i forrige kapittel endringer i framtidig næringsstruktur. Det er også en del særtrekk i vår økonomi, geografi og demografi som er relevante med tanke på omleggingen vi står overfor.

I dette kapittelet ser vi først på særtrekk ved Norge og dagens utslippssituasjon. Så ser vi litt overordnet på mulige endringer i næringsstruktur og forbrukeratferd som vil kunne følge av global omlegging mot et lavutslippssamfunn. Vi diskuterer også framtidige arealutfordringer og bruken av biomasse til bioenergi. Formålet med kapittelet er å legge noen rammer for diskusjonene i kapittel fire om utslippsreducerende tiltak i de ulike sektorene.

3.2 Norske særtrekk

Den norske kraftsektoren er i en særstilling i verden fordi nesten all kraftproduksjon er basert på fornybar energi, når man ser bort fra kraftproduksjonen i petroleumssektoren. I de fleste land er omstillingen i kraftsektoren den største utfordringen i nærmeste framtid. Petroleumsnæringen står for den største verdiskapingen i Norge, og petroleumssektoren utgjorde 26 prosent av totale utslipp i 2012. Denne konsentrasjonen av utslipp i én industrisektor skiller Norge fra mange andre land. Norsk landbasert industri kjennetegnes av relativt få og oversiktlige bransjer.

Geografisk er Norge kjennetegnet ved spredt bosetting og lavt innbyggertall. Dette legger visse føringer på hvordan transportsystemet kan legges om. Samtidig er det økt sentralisering, og mye av befolkningsveksten skjer i byene. Denne trenden gir nye utfordringer når det gjelder arealplanlegging og transport, men også nye muligheter i omstillingen av transportsystemet og utforming av nye bygg. Til tross for den spredte bosettingen kan arealbruk bli en begrensende faktor også i Norge. Spesielt ved utstrakt bruk av bioenergi vil det kunne bli knapphet på areal. Norge har relativt høy befolkningsvekst sammenlignet med andre land i Europa. Dette kan gi ekstra utfordringer for å få til raske utslippsreduksjoner i tråd med et togradersmål sammenlignet med andre europeiske land.

3.3 Dagens utslippssituasjon

De neste avsnittene gir en oversikt over dagens utslippssituasjon, som til dels kan tilskrives noen av særtrekkene beskrevet over.

Foreløpige beregninger viser at de norske utslippene av klimagasser i 2013 var på 52,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Dette er en liten økning fra 2012, da det ble sluppet ut 52,7 millioner tonn, når man ikke regner med opptak fra skog eller utslipp fra utenriks luft- og sjøfart. Utslippene har økt med 4,6 prosent siden 1990, da utslippet var på 50,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

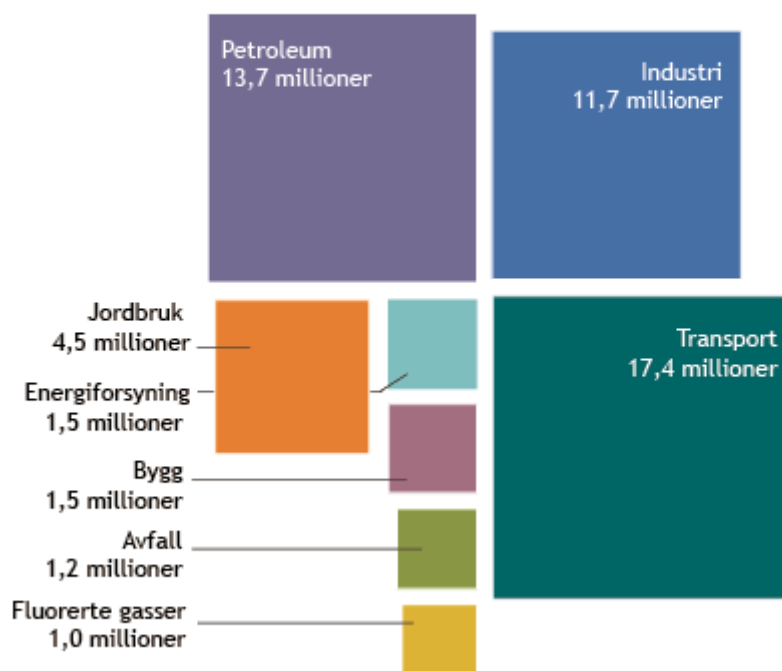
Norske klimagassutslipp har vært relativt stabile siden 1996, men nådde en topp i 2007 med 56 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. I løpet av 2008 og 2009 sank de samlede utslippene i Norge. Dette sammenfaller med nedgangen i BNP på grunn av finanskrisen. Både den økonomiske aktiviteten og klimagassutslippene økte igjen i 2010. Veksten i utslippene i løpet av de siste tjue årene kan blant annet tilskrives økt økonomisk aktivitet. Allikevel har ikke utslippene økt like mye som veksten i økonomien. Utslppsreducerende tiltak og endret næringssammensetning har bidratt til å dempe veksten i norske klimagassutslipp siden 1990 og dermed ført til en redusert utslppsintensitet¹¹ av BNP.

3.3.1 Sektorenes betydning

Transportsektoren stod for 33 prosent av klimagassutslippene (17,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter) i Norge i 2012 (Figur 3-1)). Sektoren omfatter utslipp fra vegtrafikk, sivil luftfart, skipstrafikk, jernbane og andre mobile kilder (traktorer og motorredskaper). Utslippene har økt med 30 prosent fra 1990 til 2012 (Figur 3-2). Vegtransport står for godt over halvparten av transportutslippene (58 prosent). Det er utslippene fra godstransporten som har økt mest siden 1990 (60 prosent), mens utslippene fra personbiler har økt med i underkant av 7 prosent.

Norske utslipp av klimagasser i 2012

Utslipp til luft (tonn CO₂-ekvivalenter)

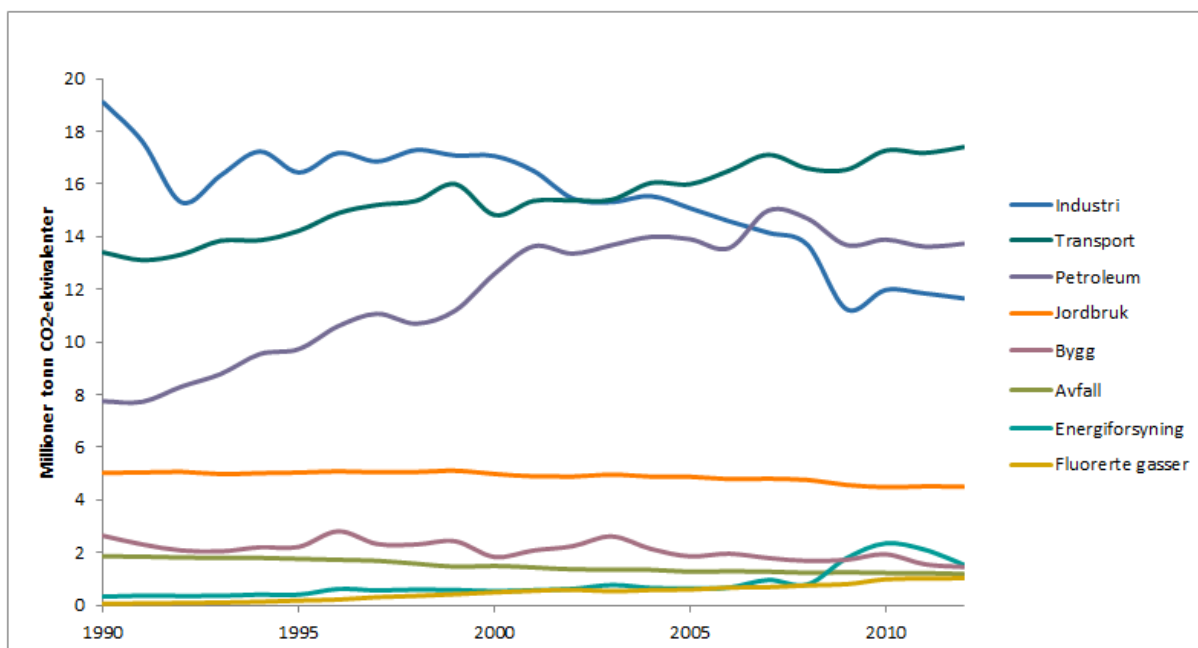


Figur 3-1 Utslipp av klimagasser per sektor, 2012.

Petroleumssektoren sto for 26 prosent av utslippene i 2012. Sektoren omfatter alle petroleumsinnretninger offshore og landanleggene på Kollsnes, Sture, Nyhamna (Ormen Lange-feltet), Melkøya (Snøhvit-feltet) og gassterminalen på Kårstø. Utslippene fra petroleumssektoren har økt med 77 prosent i perioden 1990-2012.

¹¹ Utslppsintensiteter er utslipp målt per en enhet. Vanlige enheter er per person eller per BNP.

Industriektoren stod for 22 prosent av utslippene i 2012, og utslippene er redusert med 39 prosent siden 1990. Reduksjonen skyldes en kombinasjon av teknologiforbedringer og nedleggelser. Teknologiforbedringene har medført reduserte utslipp fra industrielle prosesser, mens utslippene fra forbrenning innenfor industrien ikke er redusert tilsvarende.



Figur 3-2 Utslippsutvikling 1990-2012.

Jordbruk stod for nesten 9 prosent av utslippene i 2012. Utslippene stammer fra husdyr og husdyrgjødsel (metan), samt fra nedbryting av nitrogenforbindelser i jordsmonn (lystgass). Utslippene er redusert med i underkant av 11 prosent siden 1990.

Utslipp fra oppvarming av bygg utgjorde 3 prosent av de totale utslippene i 2012. Utslippene er redusert med nesten 45 prosent siden 1990, hovedsakelig på grunn av redusert bruk av fossile brensler til oppvarming i husholdningene.

Avfallssektoren stod for 2 prosent av utslippene i 2012 og omfatter i hovedsak metan (CH_4) fra avfallsdeponier og metan- og lystgass (N_2O)-utslipp fra avløp og avløpsrensing. Utslippene er redusert med 36 prosent siden 1990, stort sett på grunn av reduserte utslipp av metan fra avfallsdeponier som følge av blant annet økt gjenvinning og faking.

Energiforsyning stod for 3 prosent av utslippene i 2012 og omfatter produksjon av elektrisitet, samt fjernvarme. I 2009 økte utslippene betydelig som følge av oppstarten av gasskraftverkene Kårstø og Mongstad. Utslippene er siden redusert i takt med den reduserte aktiviteten på gasskraftverket på Kårstø.

Bruk av F-gasser i produkter stod i 2012 for om lag 2 prosent av de norske klimagassutslippene. Utslippene har økt kraftig siden 1990 på grunn av økt bruk av HFKer som kjølemedium. I 1990 utgjorde bruk av F-gasser i produkter kun 0,1 prosent av de norske utslippene.

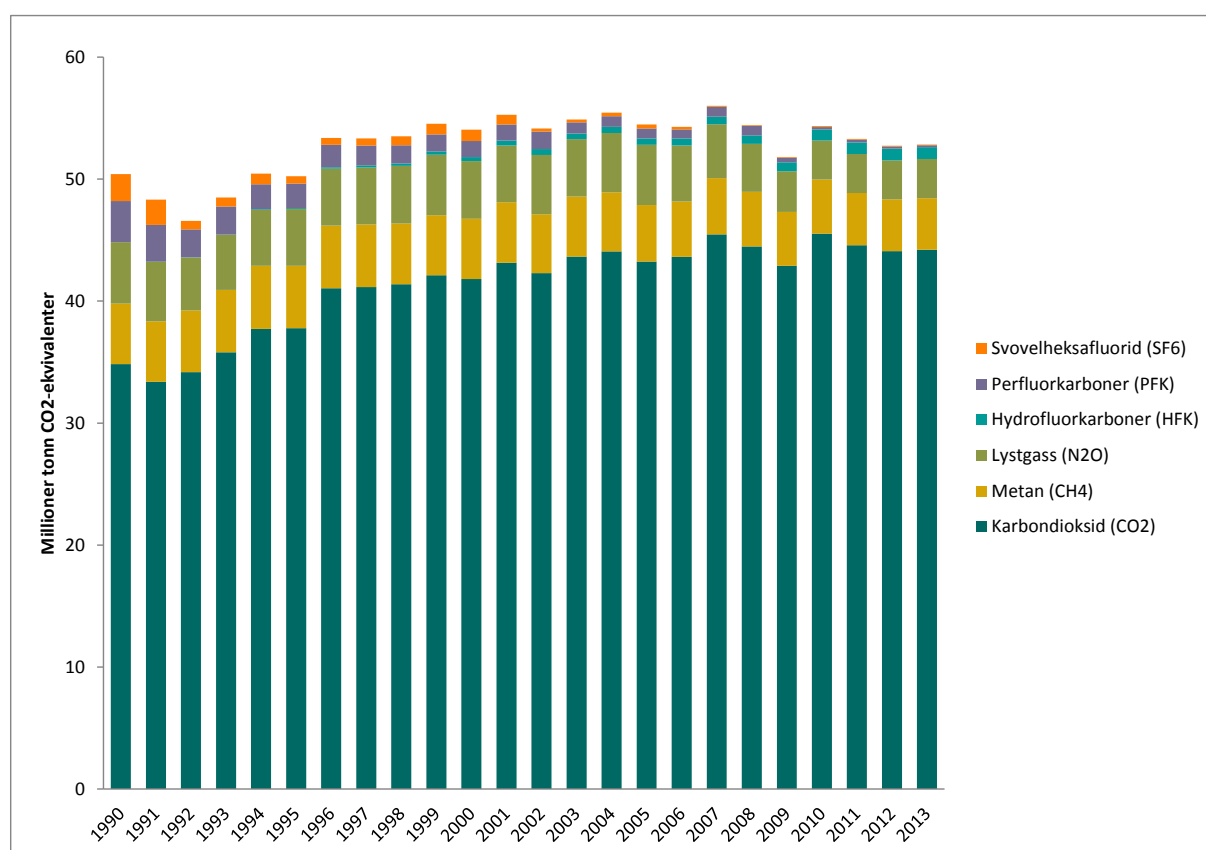
3.3.2 Skog og andre landarealer

På grunn av aktiv skogskjøtsel er volumet i norske skoger doblet de siste 80 årene. Dette innebærer at betydelige mengder CO_2 bindes hvert år. Opptaket av CO_2 på skogarealene har økt fra nesten 13

millioner tonn i 1990 til 30,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012. Dette inkluderer både levende biomasse og karbon lagret i dødt materiale og i jorda. Skog er en del av sektoren skog, arealbruk og arealbruksendringer (LULUCF - Land Use, Land-Use Change and Forestry), som i tillegg til skog inkluderer dyrket mark, beite, vann og myr, bebyggelse og annen utmark. Nettoopptaket fra hele sektoren økte fra om lag 10 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 1990 til 26,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012. Opptaket i 2012 tilsvarte rundt 50 prosent av utslippet i andre sektorer.

3.3.3 Klimagassene

Klimagassene som inngår i utslippsregnskapet består av fire gasser (CO₂, CH₄, N₂O og SF₆) og to grupper av gasser (PFK-perfluorkarbon og HFK- Hydrofluorkarboner). Figur 3-3 viser klimagassutslippene fordelt på gasser fra 1990-2013. De ulike gassene er sammenveid ved hjelp av GWP-verdier (Miljøstatus i Norge, 2014). I 1990 stod CO₂ for 69 prosent av de totale utslippene, dette har økt til 84 prosent i 2012. Dette skyldes en kombinasjon av vekst i CO₂-utslippene og at utslipp av andre klimagasser har gått ned, først og fremst på grunn av tiltak i industrien og avfallssektoren. Utslippene av de fluorholdige gassene har gått ned spesielt mye, og er til sammen redusert med 80 prosent i perioden etter 1990. Dette dreier seg hovedsakelig om reduksjoner av PFK- og SF₆-utslipp fra industrien. Utslippene av lystgass og til dels metan er også redusert. Utslippene av CO₂ er i større grad enn de andre gassene knyttet direkte til forbrenning av fossilt brensel. Den viktigste årsaken til økningen i CO₂-utslipp er forbrenning av naturgass i forbindelse med økt olje- og gassutvinning. I tillegg har det vært en økning i CO₂-utslippene fra transport. CO₂-utslippene fra industrien har vært relativt stabile i perioden 1990-2012.



Figur 3-3 Klimagassutslipp per klimagass, 1990-2013. Millioner tonn CO₂-ekvivalenter

Metan (CH₄) stod for 8 prosent av norske klimagassutslipp i 2012 og utgjorde 10 prosent i 1990. Utslippene er redusert med 15 prosent fra 1990 til 2012. Årsaken er særlig reduserte utslipp fra avfallshåndtering. Denne reduksjonen har blitt delvis oppveid av en økning i metanutslippene fra

prosessutslipp i petroleumssektoren. Husdyr og husdyrgjødsel er en viktig kilde til metanutslipp, og utslippene herfra har gått noe ned.

Lystgass (N_2O) stod for 6 prosent av norske klimagassutslipp i 2012 og utgjorde 10 prosent i 1990. Utslippene er redusert med 38 prosent fra 1990 til 2012. Bruk av nitrogenholdig gjødsel i jordbruket bidrar til 71 prosent av det totale utslippet av N_2O . Dette utslippet har blitt redusert med 14 prosent fra 1990 til 2012. Industrielle utslipp av lystgass har blitt redusert med hele 85 prosent i perioden 1990-2012 som følge av forbedrede produksjonsprosesser ved fremstilling av salpetersyre.

Utslippene av perfluorkarbon (PFK) stod for 0,3 prosent av utslippene i 2012 og utgjorde 6,7 prosent av utslippene i 1990. Utslippene er redusert med 95 prosent i perioden fra 1990 til 2012. Denne nedadgående utviklingen skyldes forbedret teknologi og prosesskontroll i aluminiumproduksjonen, blant annet som følge av en avtale mellom industrien og myndighetene.

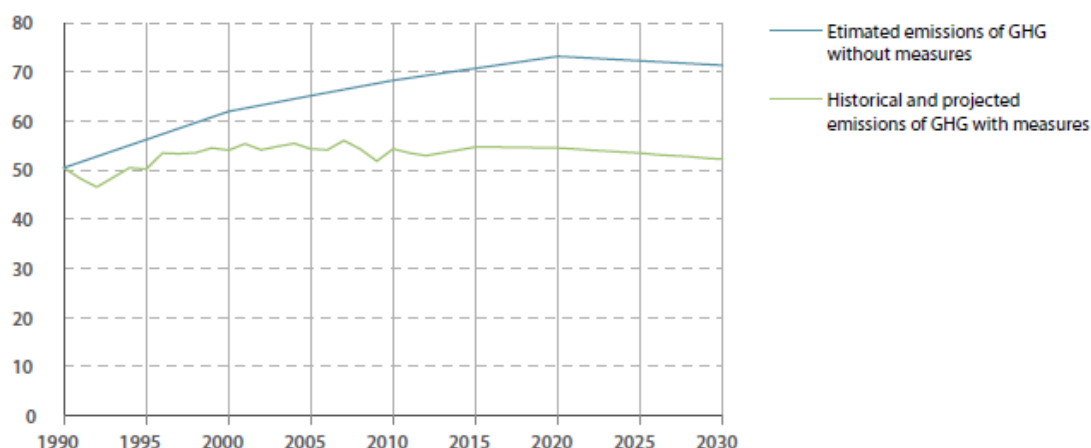
Utslippene av svovelheksafluorid (SF_6) er redusert med hele 97 prosent i perioden fra 1990 til 2012, og stod i 2012 bare for 0,1 prosent av de samlede norske klimagassutslippene. Inntil 2006 skyldtes utslippene av SF_6 i Norge først og fremst bruk som dekk-gass i produksjon av magnesium. Forbedret teknologi og bedre prosessstyring førte til at utslippene per produserte enhet gikk kraftig ned fra 1990 til 1995. På grunn av nedleggelser, først i primærproduksjon og så i sekundærproduksjon, gikk utslippene ytterligere ned i 2002 og 2006. Dette gjør at utslippene har blitt redusert med 2,1 millioner tonn CO_2 -ekvivalenter siden 1990. SF_6 brukes i dag blant annet som isolasjonsmateriale i høyspenningsbrytere. En frivillig avtale mellom staten og høyspentbransjen i 2002 har ført til at utslippene fra denne kilden er blitt redusert.

Utslippene av hydrofluorkarbon (HFK) har steget fra et veldig lavt nivå i 1990, til nesten en million tonn CO_2 -ekvivalenter i 2012. HFK stod for 1,8 prosent av de totale utslippene i 2012 og brukes først og fremst som kjølemiddel, som erstatning for ozonreducerende stoffer som KFK og HKFK.

3.4 Effekt av tiltak og virkemidler

Selv om Norges utslipp har økt siden 1990, ville de ha vært enda høyere uten de virkemidlene som allerede er innført. I en rapport sendt til FNs Klimakonvensjon (Klima- og miljødepartementet, 2014) har en rekke tiltak og virkemidler blitt vurdert i forhold til hvilke utslippsreduksjoner de har ført til.

Selv om det er metodiske utfordringer i å beregne effekten med hensyn til reduserte utslipp, viser beregningene at Norges utslipp ville vært betydelig høyere dersom tiltak og virkemidler ikke hadde blitt innført.



Figur 3-4 Norske utslipp med og uten virkemidler. Kilder: Statistisk Sentralbyrå, Miljødirektoratet og Finansdepartementet.

Utslippene i 2010 ville, uten den eksisterende tiltaks- og virkemiddelbruken, vært 12,6-15,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter høyere enn de faktiske utslippene i 2010. Fremover er det beregnet at utslippene i 2020 og 2030 ville ha vært henholdsvis 17,1-20,1 og 17,8-20,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter høyere dersom tiltak og virkemidler ikke hadde blitt innført. Det har vært utslippsreduksjoner i alle sektorer, men de største bidragene er innenfor petroleum og industri (Klima- og miljødepartementet, 2014).

3.5 Nye næringsstrukturer

Utslippsutviklingen fremover vil være avhengig av næringsstrukturen. Det er 35 år til 2050. Hvis man ser tilsvarende langt bakover i tid kommer vi til 1979. I 1979 utgjorde eksempelvis olje og gassutvinning fem prosent av Norges produksjon (SSB, 2014e)¹², mens samme næring i 2013 utgjorde 16 prosent. Tilsvarende har industriens bidrag blitt redusert fra 29 prosent til 15 prosent. Fram mot 2050 kan vi forvente tilsvarende store endringer, men akkurat hva de vil bestå av er ikke lagt som noe premiss i denne analysen utover de vurderingene som ligger til grunn for Finansdepartementets framskrivinger. Behovet for langt bedre utnyttelse av klodens ressurser og langt lavere energiforbruk per produsert enhet gjør det likevel rimelig å anta at en global omlegging mot et lavutslippssamfunn vil påvirke de fleste norske sektorer.

For mange materialer er substitusjon til produkter med et lavere klimafotavtrykk mulig. Mange av dagens fossilbaserte produkter kan lages med biobaserte innsatsmidler. Bioplast er allerede i bruk, blant annet i brusflasker og annen matemballasje. Det finnes i dag få muligheter for å substituere produkter som stål og sement, men stort potensial for å bruke dem mer effektivt. Mange bygninger og mye infrastruktur overdimensjoneres, og forbruket av stål og sement kunne vært langt mindre med bedre design. Både betong og stål kan dessuten gjenvinnes i langt større grad enn i dag.

Mange produkter kan brukes mye lenger enn de gjøres i dag. De strukturelle elementene i bygninger og infrastruktur kan vare rundt 200 år hvis de vedlikeholdes godt, men typisk levetid i verden er omtrent 80 år. Lignende observasjoner kan gjøres om andre produkter, som skiftes ut lenge før de må. Industriell symbiose kan bidra til redusert avfallsmengde og god ressursutnyttelse. Ved å samle industrivirksomheter kan driften optimaliseres ved å utnytte hverandres bi-produkter og overskuddsvarme.

¹² Produksjon i basisverdi. Løpende priser (mill. kr.).

3.6 Endret forbrukeratferd

Det europeiske miljøbyrået (EEA, 2012) viser til at studier indikerer at klimagassutslippene som forårsakes av husholdninger varierer med en faktor på 3 mellom husholdninger med like stort totalt forbruk. Husholdninger som forårsaker lavere klimagassutslipp har en tendens til å være i urbane områder, bruke kollektivtransport heller enn privatbil, bruke fornybar energi til oppvarming, ha mindre boligareal per person, bo i leiligheter heller enn eneboliger og spise mindre kjøtt. Videre bruker disse husholdningene mer penger på fritidsaktiviteter og er villige til å betale mer for kvalitet enn kvantitet når de kjøper produkter.

IPCC viser også til at utslippene forbundet med turisme vil kunne øke rundt 130 prosent mellom 2005 og 2035, og at dette vil forbruke hele karbonbudsjettet til enkelte land (IPCC, 2014)¹³. Hvis forbruksmønsteret endres, slik at boliger ikke varmes og kjøles mer enn nødvendig, bygninger og infrastruktur brukes mer intensivt, unødvendig forbruk av produkter reduseres og det i økende grad benyttes produkter med lavere klimafotavtrykk, vil utslippene reduseres både nasjonalt og globalt. En økende bevissthet hos forbrukerne om sammenhengen mellom klimagassutslipp og forbruk blir dermed viktig. Bedre merkeordninger som kan gjøre det lettere for forbrukerne å velge klimavennlige produkter er et mulig virkemiddel.

3.7 Byutvikling

Urbanisering er en global megatrend som påvirker energiforbruk og utslipp av klimagasser gjennom blant annet bruk av landarealer, infrastrukturbygging og person- og varetransport. Mer enn halvparten av verdens om lag 7 milliarder mennesker bor i byer, og ca 70 prosent av energiforbruket kommer fra urbane områder. Innen 2050 er det forventet at den urbane befolkningen globalt har økt til mellom 5,6 og 7,1 milliarder mennesker (IPCC, 2014). Selve byggingen av byer i de historisk sett rikeste landene, som for eksempel Norge, har gjennomsnittlig tilsvart et utslipp på 50 tonn CO₂-ekvivalenter per innbygger. Dersom framtidens byer blir bygget med like høy karbonintensitet som i dag, vil ca halvparten av karbonbudsjettets gjenværende 1000 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter brukes til å bygge opp og utvide byer i land som er i utvikling.

For å sikre at framtidig energibruk i byer blir lavest mulig (unngå lock-in effect), er det nødvendig å satse på infrastruktur og byutvikling som reduserer behovet for transport og legger til rette for sykling, gåing og offentlig transport. Vi må bo tettere og ha energieffektive bygg.

Den største andelen av byutviklingen i verden vil skje i land med raskt voksende økonomier. Svake styresett og teknologiske og finansielle begrensninger kan i en del tilfeller være en barriere for bærekraftig byutvikling.. Problemstillingene rundt bærekraftig byutvikling for å nå lavutslippssamfunnet er likevel relevant for Norge, hvor man antar at en større andel av befolkningen kommer til å flytte inn til byene. I Norge har vi muligheten til å bidra til at den veldig raske utbyggingen som skjer i andre land ikke blir like karbonintensiv som den har vært tidligere, ved å bygge foregangsbyer som kan bidra til utvikling av lavutslippsteknologi og av de gode og smarte løsningene som har overføringsverdi til andre land.

¹³ For mer informasjon om IPCCs karbonbudsjett se kapittel 1.1

3.8 Arealutfordringer

Både IPCC (2014) og The Global Commission on Economy and Climate (2014) i rapporten *New Climate Economy* fremhever bevisst bruk av arealer som et nøkkelspørsmål for å begrense klimaendringer. Arealer er en begrenset ressurs som skal fylle flere behov, fra veier og bebyggelse til jordbruksområder, skog til biomasseproduksjon, naturmangfold og rekreasjon, for å nevne noen.

Omtrent en fjerdedel av de globale utslippene av klimagasser kommer fra jordbruk, skog og annen arealbruk (IPCC, 2014), og det er anslått at avskoging og skogforringelse står for ca. 11 prosent av totale globale utslipp (The Global Commission on the Economy and Climate, 2014). For Norge er bildet noe annerledes. Vi har et årlig opptak av klimagasser i sektoren skog og andre landarealer, primært på grunn av en voksende skog. På samme tid omdisponeres skogarealer til andre formål hvert år, da særlig til bygging av boliger, hytter, veier, alpinanlegg med videre, men også til husdyrbeite. Utslipp relatert til slik avskoging er inkludert i det årlige netto opptaket fra sektoren. Det er en politisk målsetning å opprettholde eller øke karbonlageret i skogen. Det kan gjøres ved å øke skogarealet eller ved å øke karbonlageret på eksisterende skogarealer.

Jordbrukssektoren i Norge har et årlig netto utslipp som antas å være tilnærmet konstant mot 2050. I referansebanen forutsettes det at jordbruket i 2050 skal dekke matbehovet til 6,7 millioner mennesker med samme selvforsyningsgrad som i dag. Det totale jordbruksarealet i drift antas likevel å være uendret sammenlignet med i dag selv om matproduksjonen vil øke i takt med befolkningsøkningen. Det henger blant annet sammen med at vi forventer større avlinger per arealenhet og vridninger i forbruket (jamfør kapittel 4.9). Den forventede befolkningsveksten vil imidlertid kunne medføre økt etterspørsel etter mer arealer til ulike former for infrastruktur. Derfor er det sannsynlig at Norge, som resten av verden, vil oppleve økt press på arealene utover i århundret.

3.9 Biomasse til bioenergi

Bioenergi er energi som har opphav i biomasse, det vil si organisk materiale fra planter og dyr. Råvaren kan være for eksempel ved, greiner og tretopper (GROT), gras, halm eller andre planterester fra jordbruket og skogbruket, husdyrgjødsel, matavfall eller alger. Disse omdannes til ulike energibærere i fast, flytende eller gassform, og har en rekke forskjellige bruksområder som for eksempel transport, oppvarming, elektrisitetsproduksjon og matlaging.

Bruk av bioenergi påvirker klimasystemet på en helt annen måte enn forbrenning av fossile energibærere. Fossile energibærere frigjør CO₂ fra "den langsomme karbonsyklusen", hvor CO₂ har vært geologisk lagret og ute av kontakt med atmosfæren på en tidsskala av 10 000 år og lengre.

Forbrenning av biomasse frigjør CO₂ fra "den raske" delen av karbonsyklusen, hvor karbon går i et kretsløp mellom luft, jord og vann og levende og død biomasse. Bioenergi tilfører dermed ikke CO₂ fra en del av karbonsyklusen til en annen slik som forbrenning av fossile brensler gjør. Bærekraftig bruk av bioenergi forutsetter at arealene plantes til igjen etter uttak av biomasse. Når arealer vokser til med biomasse igjen vil CO₂ trekkes vekk fra atmosfæren.

Hvor stor klimapåvirkningen fra bioenergi vil bli sammenliknet med fossile energibærere avhenger av en rekke faktorer: Hvilket tidsperspektiv vi opererer med, hva slags råstoff som benyttes, hva råstoffet benyttes til og hvor effektivt det benyttes, direkte og indirekte konsekvenser av og for

arealbruk og hvordan andre klimadrivere enn CO₂ påvirkes. Bruk av avfall og hurtigvoksende vegetasjon med raske omløp har ofte de beste klimaytelsene. På den andre siden kommer bruk av ressurser og arealer som fører til utslipp fra store naturlige karbonlagre, som avskoging og oppdyrking av torvmarker. En bærekraftig bruk av arealer vil sikre at bioenergi er vesentlig bedre enn fossile alternativer når man vurderer klimaytelsene i et livsløpsperspektiv.

I vurderingene av bruk og produksjon av bioenergi må det tas hensyn til matsikkerhet og biomangfold. Felles europeiske bærekraftkriterier for biodrivstoff er eksempel på et virkemiddel som har til hensikt å sikre klimagevinst samtidig som hensynet til andre viktige samfunnsinteresser ivaretas.

Skogen er den største kilden til produksjon av bioenergi i Norge, og dette blir dekket i kapittel 4.10. I tillegg produseres det bioenergi fra matavfall (se kapittel 4.5), husdyrgjødsel (se kapittel 4.9) og marine mikro- og makroalger (se kapittel 6.3).

4. Mot lavutslippssamfunnet - sektor for sektor

4.1 Tilnærming

4.1.1 Innledning

I dette kapittelet presenteres sektorvise analyser for de ulike utslippssektorene i Norge. Delkapittel 4.1 beskriver avgrensninger og metodikken som er lagt til grunn for de sektorvise analysene. I tillegg diskuteres virkemidler som virker på tvers av sektorer. Delkapittel 4.2-4.10 tar for seg de ulike utslippssektorene i Norge, samt skog og andre landarealer. Sektor for sektor beskrives dagens utslipp, utslippsutviklingen siden 1990 og utslippsframskrivninger. Det gis videre en sektorvis vurdering av mulige utslippsreduksjoner mot 2050, samt av hvor store utslippsreduksjoner det kan være mulig å oppnå i 2030. Vurderingene i hver sektor samles i en tabell der tiltakene er grovsortert etter antatt kostnadsnivå og hvor krevende de antas å være å gjennomføre. I tillegg beskrives tiltak og virkemidler, behovet for strukturelle endringer og teknologiutvikling. Videre beskriver vi konsekvenser av disse handlingene i form av kostnader og energietterspørsel så langt dette er mulig.

Resultatene av denne analysen skal blant annet brukes som et faglig underlag for å fastsette hva som skal være Norges bidrag inn i klimaforhandlingene i Paris i 2015. Hovedtilnærmingen vår er derfor å analysere tiltak og virkemidler som bidrar til å redusere nasjonale utslipp og/eller øke opptaket av karbon.

For å kunne ta stilling til om et tiltak bør gjennomføres eller ikke, er det nødvendig å gjøre en helhetlig vurdering av om tiltakene er fornuftige i et langsiktig og globalt perspektiv.

- Vil effekten av tiltak være forbigående, eller er de et skritt i riktig retning mot lavutslippssamfunnet?
- Kan man forvente at utslipp utenfor landets grenser påvirkes som en konsekvens av tiltakene?

Norge er et lite land med en åpen økonomi, og vi importerer mange av varene som forbrukes nasjonalt. Dermed vil mye av det vi forbruker i Norge forårsake utslipp i andre land. Slike utslipp regnes ikke med i de nasjonale utslippstallene, som legger til grunn en territorialavgrensning. På samme måte, om enn med motsatt fortegn, har Norge en betydelig eksport av spesielt olje og gass og produkter fra energikrevende industri, for eksempel metallindustrien. Denne produksjonen forårsaker utslipp i Norge, mens forbruket skjer i andre land.

Livsløpsperspektivet eller en fotavtrykksvurdering er ikke en del av vår kvantitative vurdering. I en global sammenheng er dette imidlertid svært viktig. Kapittel 3 sier litt om strukturer som er viktige å få på plass både nasjonalt og globalt for å få til bedre ressursutnyttelse og redusert forbruk. I sektorkapitlene peker vi også på teknologier som er viktige å utvikle og spre for å redusere utslipp fra produksjonsprosesser globalt.

Tiltak og virkemidler som innføres i Norge kan påvirke rammebetingelsene til norsk næringsliv. Dette kan skape muligheter, men det er også risiko for at virksomheter flytter ut til land med mer gunstige rammebetingelser eller at nyetableringer skjer utenfor Norge. Det sistnevnte er ofte kalt

for karbonlekkasje. Disse aspektene er inkludert i vurderingen av de enkelte tiltak, men er ikke kvantifisert.

4.1.2 Metodiske vurderinger

Denne analysen består av en vurdering av sektorene i et lavutslippssamfunn, eksemplifisert med tilstanden i 2050 og en analyse av tiltak som kan gjennomføres til 2025 og 2030. I det lange tidsperspektivet mot 2050 har vi løsrevet oss noe fra tradisjonelle tiltaksvurderinger, og vurderingene er av mer kvalitativ karakter. Sektorenes vurderinger av 2025 og 2030 er kvantitative analyser, i hovedsak basert på tilgjengelig informasjon som er tidligere publisert, herunder data fra Klimakur 2020 (Klimakur 2020, 2010), tiltaksanalyse for NO_x (Miljødirektoratet et al., 2014c), en oppdatering av industriltakene fra Klimakur, samt analyse av kortlevde klimadrivere (Miljødirektoratet, 2013a). Usikkerheten knyttet til både forutsetninger og resultater blir naturligvis større jo lenger inn i framtiden man forsøker å se. Ettersom utgangspunktet for analysen er togradersmålet, har det vært nødvendig også å beskrive tiltak som er mer ambisiøse enn det vi har beskrevet i tidligere analyser.

Tilnærmingen vår er en partiell analyse av utslippsreducerende tiltak i alle sektorer, og kostnader forbundet med disse. Analysen kan si noe om kostnadene av enkelttiltak, men gir ikke grunnlag for å si noe om eventuelle økonomiske ringvirkninger. Vi har lagt til grunn at det fortsatt skal være økonomisk vekst i Norge og har ikke sett på redusert økonomisk vekst generelt som et tiltak. Tiltak og virkemidler som er omtalt i denne rapporten vil imidlertid kunne påvirke den økonomiske veksten.

Vi har tatt utgangspunkt i dagens næringsstruktur, men beskrevet nødvendigheten av strukturelle tiltak og behovet for teknologisk utvikling. Befolkningens forbruksmønster vil kunne påvirke Norges framtidige utslippsnivå. Vi har til en viss grad sett på endret forbruk som tiltak innenfor enkelte sektorer, men vi har ikke gjort noen heldekkende analyse av effekten av endret forbruk mer generelt.

Ettersom oppgaven har vært å lage et beslutningsgrunnlag for en ny norsk klimaforpliktelse, har hovedfokuset vært på hvordan vi kan redusere utslipp fra norsk territorium i våre kvantitative beregninger. Samtidig har vi også vurdert tiltak og virkemidler i en global og langsiktig sammenheng, mer kvalitativt.

For de fleste av utslippsregnskapets kilder til klimagassutslipp er det vurdert tiltak. Unntakene er bruk av løsemidler, gass- og bensindistribusjon, kalking av industriavfall og noen andre kilder med små utslipp. Til sammen utgjorde dette 220 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2012. I utslippsregnskapet er utslipp knyttet til produksjon av elektrisitet i Norge inkludert, men ikke utslipp knyttet til importert elektrisitet. Det utslippet er inkludert i det eksporterende lands klimagassregnskap. Utslipp fra produksjon av elektrisitet i Norge er inkludert i kilden energiforsyning.

4.1.2.1 Kostnadsvurderinger

For de utslippsreducerende tiltakene som legges til grunn for beregning av reduksjonspotensialene i 2025 og 2030 er det også gjort grove kostnadsvurderinger. Mange av disse har tatt utgangspunkt i kostnadsestimatene fra Klimakur 2020. På grunn av høy usikkerhet har vi valgt å dele tiltakene inn i ulike kostnadsgrupper, der nivå 1 inneholder tiltak med tiltakskostnad < 500 kr /tonn CO₂-ekvivalenter. I nivå 2 ligger tiltak med tiltakskostnader fra 500 - 1500 kr /tonn CO₂-ekvivalenter. I nivå 3 ligger tiltak med tiltakskostnad > 1500 kr /tonn CO₂-ekvivalenter.

I tillegg til de sektorspesifikke vurderingene av kostnader for enkelttiltak er det kjørt modellberegninger med IFEs TIMES-modell. Resultatene fra denne kjøringen dekker kun CO₂-utslipp, og bare fra transport, bygg og forbrenningsutslipp fra industrien. Modellen er kjørt med ulike scenarier der den viktigste parameteren som endres er utslippsreduksjonene for et gitt mål-år.

4.1.2.2 Vurderinger av gjennomførbarhet

I tillegg til de rene kostnadmessige vurderingene, er det flere andre forhold som kan påvirke mulighetene til å gjennomføre tiltakene. Som en samlebetegnelse for slike forhold er i denne rapporten kalt tiltakenes gjennomførbarhet. Tiltakenes gjennomførbarhet er vurdert på skalaen *forholdsvis enkelt, middels krevende* eller *krevende*. Dette er en skjønnsmessig inndeling.

Vurderingen er basert på:

- Tiltakets teknologimodenhet
- Hvorvidt det finnes, eller kan iverksettes et egnet virkemiddel (virkemidler) for å få utløst tiltaket. Det virkemidlet som er best egnet vurderes etter:
 - Grad av styringseffektivitet - Hvor sikre er vi på at virkemiddelet vil utløse tiltak og utslippsreduksjoner som anslått?
 - Fordelingsvirkninger - Er det slik at noen grupper rammes ekstra hardt, eller fordeles kostnadene på mange (f. eks. over statsbudsjettet)?
 - Administrative kostnader ved virkemiddelet. - F. eks vil detaljerte enkeltreguleringer av mange små utslippskilder ha høye administrative kostnader (utover tiltakskostnadene)

Det kan også være andre grunner til at tiltak er vanskelige å gjennomføre. I Klimakur ble mange av tiltakene utredet med skille mellom samfunnsøkonomisk og bedrifts-/privatøkonomisk kostnad. Et slikt skille har vært utenfor rekkevidde innenfor tidsrammen på dette prosjektet. Andre mulige grunner til at tiltak er vanskelig gjennomførbare er målkonflikter med andre politiske mål eller at det er innebærer store, komplekse prosjekter, som for eksempel elektrifisering offshore.

Kostnadsvurderingene som ligger til grunn for tiltakspakkene er i hovedsak samfunnsøkonomiske. Andre økonomiske aspekter er dekket opp av gjennomførbarhetsvurderingene. Fordi vurderingen av gjennomførbarhet innebærer en stor grad av skjønn har vi for hvert av tiltakene gitt en kortfattet begrunnelse for plasseringen vi har valgt.

Det er verdt å merke seg at vurderingen av tiltakenes gjennomførbarhet er gjort med referanse til dagens situasjon.

4.1.2.3 Referansebanen

Referansebanen som brukes i denne analysen består av historiske utslipp og framskrivninger av utslipp. Framskrivningene for 2020 og 2030 bygger på de nasjonale framskrivingene av utslipp til luft som ble publisert i Perspektivmeldingen 2013 (Meld. St. 12 (2012-2013)). Det betyr at samlede utslipp samsvarer med PM2013, men utslippene fordelt på utslippskilder er Miljødirektoratets ansvar. Framskrivningene i PM2013 ble laget av Finansdepartementet (FIN) i samarbeid med Miljødirektoratet, der FIN lager framskriving for CO₂, NO_x, NMVOC, SO₂ og NH₃, og Miljødirektoratet har ansvar for framskrivingene av de andre klimagassene.

Framskrivninger er i sin natur usikre og usikkerheten øker til lenger fram mot 2050 vi kommer.

Framskrivningene i Perspektivmeldingen fra 2013 er utarbeidet ved hjelp av Statistisk Sentralbyrås generelle likevektsmodell MSG. Modellen tallfester økonomiens virkemåte basert på observasjoner av historiske sammenhenger. De viktigste drivkreftene bak den økonomiske utviklingen, blant annet utviklingen i produktivitet, befolkning, sysselsetting, internasjonal kapitalavkastning, energipriser

og petroleumsinntekter, må likevel angis utenfor modellen. Nye utslippsframskrivninger blir offentliggjort i forbindelse med nasjonalbudsjettet for 2015 8. oktober i år. Ettersom arbeidet med å oppdatere utslippsframskrivingene har pågått parallelt, har ikke resultatene fra dette arbeidet vært tilgjengelig for oss i arbeidet med denne rapporten, men vil bli lagt til grunn i fase 3 av arbeidet som har tidsfrist 15. februar 2015. I mellomtiden må vi ta forbehold om at endrete forutsetninger og utslippsframskrivninger kan påvirke resultatet fra analysene.

MSG-modellens framskrivninger er på økonomiske sektorer. Framskrivningen som brukes i rapporten er på samme kildeformat som det nasjonale utslippsregnskapet. Det er Miljødirektoratet som er ansvarlig for konverteringen av framskrivningen til formatet som i utslippsregnskapet. Framskrivningen for 2025 og 2050 som presenteres i rapporten er Miljødirektoratets ansvar.

Norsk institutt for skog og landskap har utarbeidet nye framskrivninger for utvikling i opptak og utslipp av klimagasser fra skog og andre arealer. Disse er beskrevet i kapittel 4.1.2.6.

Framskrivninger fram til 2050

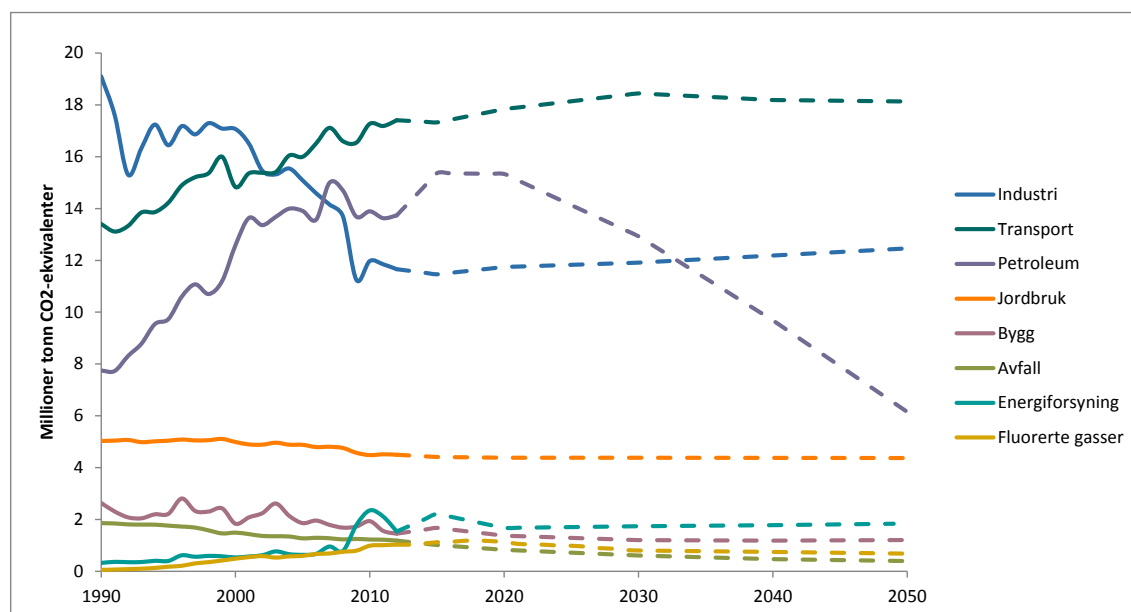
Framskrivningen viser at utslippene forventes å øke med 1,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter fra 2012 til 2020, for deretter å gå ned med 2,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter fram mot 2030. Videre går utslippene ned med 6,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter fra 2030 til 2050. Hovedforklaringen til endringene er økningen i utslippene fra olje- og gassutvinning fram mot 2020 og deretter fallet i utslippene fra samme sektor. Utslippene går ned fra i 2020 54,5 til i 2050 ca. 46 mill. tonn CO₂-ekvivalenter.

Fram til 2020 vokser utslippene fra olje- og gassutvinning, vegtrafikk og industri. Videre fram mot 2030 er det fra vegtrafikk og industri at utslippene forventes å øke noe. Alle andre sektorer forventes å redusere utslippene fram mot 2030 og videre fram mot 2050 Industriutslippene vokser særlig i slutten av perioden. Utslippene fra energiforsyning er korrigert i sektorkapittelet slik at utslippene framover er antatt å bli lavere enn tabell 1-1 viser, se kapittel 4.6 Energiforsyning. CO₂ står i dag for 84 prosent av samlet utslipp av klimagasser. Andelen endres lite i framskrivingsperioden.

Per person forventes utslippene av klimagasser å gå ned. De har gått ned med 0,5 prosent per år mellom 1990 og 2012. Framskrivningen viser at utslippene går videre ned med om lag 1 prosent per år fram mot 2050 da utslippen er ca. 7 tonn CO₂ ekvivalenter per person. Dette er en nedgang på i overkant av 30 prosent fra 2012 da utslippene var 10,6 tonn CO₂ ekvivalenter per person.

Tabell 4-1 Framskrevet samlet utslipp av alle klimagasser. Millioner tonn CO₂-ekvivalenter. % endring p.a.

	1990	2000	2010	2011	2012	2020	2030	2050	1990-2012	2012-2020	2020-2030	2030-2050	2012-2050
Olje- og gass-utvinning	7,7	12,6	13,9	13,6	13,7	15,3	12,9	6	2,6 %	1,4 %	-1,7 %	-3,6 %	-2,1 %
Industri og bergverk	19,1	17,1	12,0	11,8	11,7	11,7	11,9	12	-2,2 %	0,1 %	0,1 %	0,2 %	0,2 %
Energi-forsyning	0,3	0,5	2,4	2,1	1,5	1,7	1,7	2	7,3 %	1,1 %	0,4 %	0,3 %	0,5 %
Oppvarming i andre næringer og husholdninger	2,6	1,8	1,9	1,6	1,5	1,4	1,2	1	-2,7 %	-0,7 %	-1,3 %	0,0 %	-0,5 %
Vegtrafikk	7,8	8,5	10,1	10,1	10,1	10,7	11,4	12	1,2 %	0,7 %	0,6 %	0,1 %	0,4 %
Luftfart, sjøfart, fiske, motorredskaper m.m.	5,6	6,3	7,2	7,1	7,3	7,2	7,1	7	1,2 %	-0,2 %	-0,1 %	-0,4 %	-0,3 %
Jordbruk	5,0	5,0	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4	-0,5 %	-0,3 %	0,0 %	0,0 %	-0,1 %
Andre kilder	2,2	2,2	2,4	2,4	2,4	2,2	1,6	1	0,6 %	-1,4 %	-2,8 %	-1,1 %	-1,6 %
Totalt	50,4	54,1	54,3	53,3	52,7	54,5	52,2	45	0,2 %	0,4 %	-0,4 %	-0,7 %	-0,4 %



Figur 4-1 Norges klimagassutslipp fordelt på utslippssektorer 1990–2050. Millioner tonn CO₂ - ekvivalenter.

Endrede forutsetninger med betydning for referansebanen

Etter at Perspektivmeldingen 2013 ble lagt fram er enkelte av forutsetningene som ble lagt til grunn for framskrivingene endret. I framskrivingen som vi bruker er det bare utslippene for jordbruket som er korrigert. Endringer som er ikke innarbeidet er blant annet:

- **Energiforsyning:** Framskrivingen for 2020 og 2030 bygger på PM2013, og for gasskraftverkene inkluderer framskrivingen CCS for Mongstad. De beregningstekniske forutsetningene som utslippene i PM2013 fra gasskraftverkene bygger på er nå endret som følge av at fullskala rensing på Mongstad er utsatt på ubestemt tid. I tillegg til dette er forventningene om energiproduksjonen endret ved at driften ved Naturkraft Kårstø foreløpig er innstilt. Vi

antar at i forhold til PM13 vil disse endringene redusere utslippene fra gasskraftverkene samlet.

- Elbiler: Salget av elbiler er blitt mye høyere enn det som var lagt til grunn i PM2013. Dette drar utslippene fra veitrafikk ned, men for at det skal ha vesentlig effekt på framtidige utslipp må salget fortsette i samme tempo framover som til nå i 2014.

4.1.2.4 Framskrivingsparadokset

I Finansdepartementets rundskriv R-109/2014 fastsettes prinsipper og krav som skal følges blant annet ved gjennomføringen av kostnadseffektivitetsanalyser i staten. Nullalternativet (referansebanen) skal brukes som sammenlikningsgrunnlag for å identifisere og beskrive virkningene av de tiltakene som utredes og det er viktig at forutsetninger og parameterverdier (f.eks. energipriser) i tiltaksanalysene er konsistente med det som ligger til grunn for utslippsframskrivingene.

Denne tilnærmingen fungerer svært bra innenfor mer kortsiktige analyser og i analyser som er avgrenset til i hovedsak å være av nasjonal karakter. I en lavutslippssanalyse mot 2050 som denne dukker det opp et paradoks: Referansebanen er en "business-as-usual" bane som forutsetter at verden rundt oss ikke er i endring. Samtidig vet vi at klimautfordringen bare kan løses gjennom internasjonal samhandling, og at dynamikken krever at noen land og regioner går foran, og at andre etter hvert følger etter. Hovedtilnærmingen i denne rapporten er at verden som helhet lykkes i å redusere utslippene i tråd med togradersmålet. Prinsipielt burde da forutsetningene i tiltaksanalysen vært basert på at verden rundt omstiller seg mot et lavutslippssamfunn i tråd med togradersmålet, slik det er internasjonal enighet om. Det vil si at for eksempel priser på energivarer og andre internasjonale handelsvarer burde være konsistente med togradersmålet.

Det er verdt å understreke at dette er en prinsipiell problemstilling og at usikkerheten langt fram i tid generelt er så stor at den i praksis kan overskygge paradokset beskrevet ovenfor. Eksempelvis er det krevende i det hele tatt å anslå i hvilken retning en ambisiøs klima- og energipolitikk vil påvirke forutsetningene for analysen. På den ene siden vil teknologiutviklingen antakelig gå raskere (og prisene vil falle raskere) dersom alle land sikter mot togradersmålet. For prisene på energivarer er ikke bildet like entydig. Fram til nå har vi sett at kombinasjonen av energieffektivisering og massiv utbygging av fornybar kraftproduksjon har presset kraftprisene ned, noe som for eksempel gjør elektrifisering i Norge mindre kostbart. Dersom kraftproduksjonen i Europa basert på kull og gass i stor skala skal erstattes av fornybart, kan det bidra til å presse kraftprisene opp. Totaleffekten er uvisst og usikkerheten svært stor.

I tillegg til paradokset beskrevet over har vi utfordringer knyttet til at vi legger Perspektivmeldingen 2013 til grunn for våre analyser. Mange av forutsetningene har endret seg siden denne ble laget, og tiltakskostnader beregnet basert på disse forutsetningene kan være utdaterte.

4.1.2.5 Energi- og kvotepriser

Med utgangspunkt i PM2013 legges følgende priser til grunn for denne analysen. Alle priser er oppgitt i 2014-kroner:

- *Elprisen* i 2020 er 42 øre/kWh og 48 øre/kWh i 2030.
- Den langsiktige prisen er bestemt av produksjonskostnaden for gasskraft uten CO₂-fangst og lagring.
- *Kvotepris* i EU er 104 kroner i 2020 med årlig endring på om lag 4 prosent p.a. fram til 2050.
- *Langsiktig råoljepris* er holdt konstant på 526 kr per fat fra og med 2014.
- *Naturgass-pris* er holdt konstant 1,91 kr/Sm³ fra og med 2014.

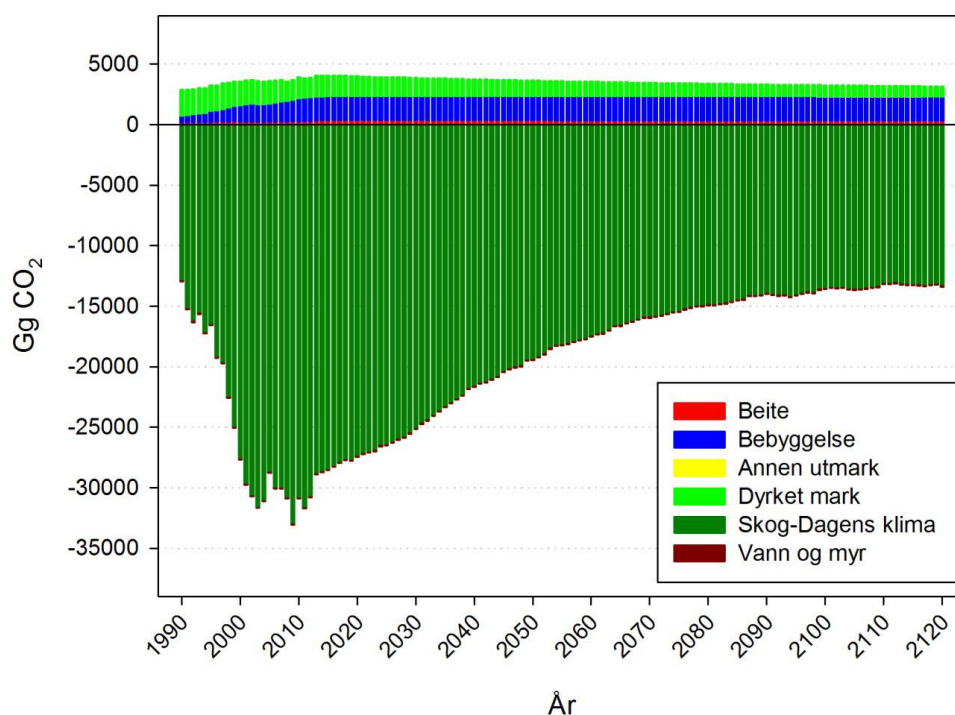
4.1.2.6 Framskrivinger for skog og andre landarealer

Norsk institutt for skog og landskap har utarbeidet nye framskrivinger for utvikling i opptak og utslipp av klimagasser fra skog og andre arealer. Dagens politikk og klima ligger til grunn for framskrivingene. Framskrivingene viser at vi fortsatt kan forvente årlig opptak fra skog og andre arealer i framtiden, men at opptaket vil bli lavere. I 2120 forventes årlig nettoopptak fra sektoren å være på 10,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Framskrivingene viser at skogarealer også i framtiden vil være den viktigste arealkategorien for opptak av klimagasser. Våtmark er forventet å fortsatt bidra til netto opptak, mens det forventes fortsatt utslipp fra arealkategoriene dyrket mark, beitemark og bebyggelse.

Nedgang i nettoopptaket fra sektoren skyldes en kombinasjon av skogens alderssammensetning og økende avvirkning. Den skogen som ble plantet i tiårene etter 2. verdenskrig begynner nå å bli hogstmoden, og årlig tilvekstrate vil avta etter hvert som den eldes. Mer hogstmoden skog i tilgjengelige områder gjør også at vi antar et økende avvirkningsnivå fra dagens 10 millioner kubikkmeter i året til 12 millioner kubikkmeter i året i 2020 og 14 millioner kubikkmeter i året i 2050.

En økning i avvirkningsnivået betyr mer biomasse tilgjengelig til byggematerialer og til bioenergi.



Figur 4-2 CO₂-utslipp fra arealkategoriene i LULUCF-sektoren. Historisk data fra 1990-2012 og framskrivinger fra 2013-2120. Tallene er fra klimascenariet "Dagens klima". Kilde: Norsk institutt for skog og landskap.

4.1.3 Virkemidler rettet mot flere sektorer

Særlig to virkemidler kan trekkes fram som sektorovergrepene; kvotesystemet og CO₂-avgiften. I dag er over 80 prosent av Norges samlede utslipp av klimagasser enten ilagt avgift eller omfattet av det europeiske kvotesystemet.

4.1.3.1 CO₂-avgiften

CO₂-avgiften ble innført i 1991. Det er gjort flere endringer i avgiftsgrunnlaget siden da, og tabellen under gir en oversikt over dagens CO₂-avgift.

Tabell 4-2 CO₂-budsjettsatser for budsjettåret 2014. Kilde: (Prop. 1 LS, 2013-2014).

CO ₂ -budsjettsatser for budsjettåret 2014	
Petroleumsvirksomhet, kr/liter eller Sm ³	0,98
Mineralolje, kr/liter	0,88
Mineralolje i innenriks kvotepliktig luftfart, kr/liter	0,56
Mineralolje i treforedlings-, sildemel- og fiskemelindustrien, kr/liter	0,31
Bensin, kr/liter	0,92
Naturgass, kr/ Sm ³	0,66
LPG, kr/kg	0,99
Redusert sats for naturgass, kr/Sm ³	0,05

4.1.3.2 Kvotesystemet

Globalt sett har flere og flere land og regioner implementert eller har planer om å etablere kvotehandelssystemer. EUs kvotehandelssystem (EU ETS) er det viktigste virkemiddelet for reduksjon av klimagassutslipp i EU. Også i Norge er det politisk enighet om at kvotehandelssystemet skal være et av de viktigste klimapolitiske virkemiddele. EU ETS er det største kvotehandelssystemet globalt, men dagens priser er lave og incentivene for investeringer i klimavennlige teknologier tilsvarende svake. Mye av grunnen til dagens overskudd av kvoter som medfører en lav kvotepris, er den globale finanskrisen som reduserte industriaktiviteten og energietterspørselen mer enn det som var forventet da kvotetaket ble satt. En høyere kvotepris, kombinert med politisk forutsigbarhet når det gjelder systemets langsiktige reduksjonsmål, kan gjøre EU ETS til et effektivt virkemiddel for å utløse utslippsreducerende tiltak.

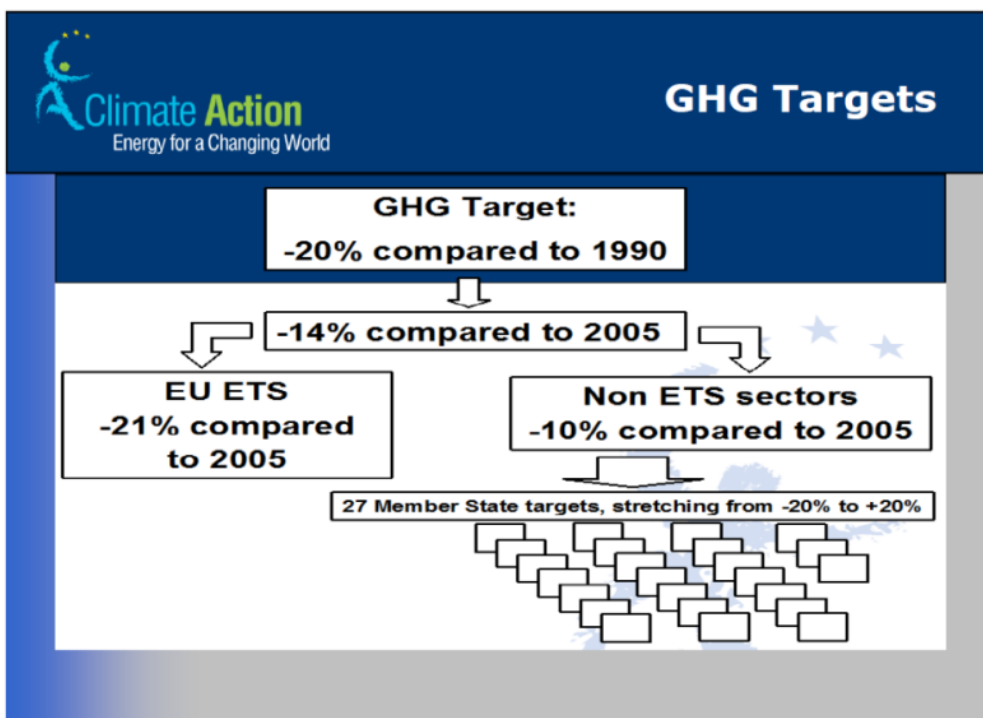
EUs kvotehandelssystem (EU Emissions Trading System - EU ETS) ble etablert i 2005. Vi er nå inne i tredje kvoteperiode som varer fra 2013-2020. EU ETS omfatter over 11 000 industrivirksomheter og kraftprodusenter i Europa. I 2013 hadde vi i Norge 132 kvotepliktige virksomheter. Virksomheter som er omfattet av kvotesystemet må hvert år rapportere hvor store kvotepliktige utslipp de hadde året før, og så levere inn klimakvoter tilsvarende årlig kvotepliktig utslipp.

EU bestemmer hvor mange kvoter som er tilgjengelig i en gitt kvoteperiode - det såkalte «kvotetaket». Taket blir satt slik at totalt antall kvoter er i tråd med de mål for utslippsreduksjoner som er satt på EU-nivå. En del av kvotene auksjoneres og en del gis direkte til virksomheten («vederlagsfri tildeling»). Muligheten for kjøp og salg av klimakvoter sikrer at reduksjonene skjer der de er billigst å gjennomføre.

Formålet med EU ETS er todelt: Systemet skal sikre at utslippene fra de kvotepliktige virksomhetene reduseres i henhold til overordnede reduksjonsmål og systemet skal gi de prissignalene som trengs for at de kvotepliktige virksomhetene utvikler og legger om til mer klimavennlige teknologier. Dagens situasjon med et stort overskudd i kvotemarkedet som gir svært lave kvotepriser, er problematisk med tanke på behovet for teknologiutvikling i årene fremover.

Tredje kvoteperiode (2013-2020)

EUs 2020 mål er å redusere klimagassutslippene med 20 prosent i 2020 sammenlignet med 1990. Kvotesystemet er EUs viktigste virkemiddel for å nå dette målet og kvotetaket er satt for å sikre at utslippene fra kvotepliktig sektor reduseres med 21 prosent i 2020 i forhold til 2005.



Figur 4-3: EUs 2020 mål fordelt på kvotepliktig og ikke-kvotepliktig sektor. Kilde: European Commission, Climate Action.

Fra og med 2013 settes kvotetaket samlet for alle land som er med i EU ETS og i tillegg er tildelingsreglene harmonisert. Kvotemengden reduseres med 1,74 prosent hvert år, noe som fører til at det i 2020 vil deles ut ca. 1,7 milliarder kvoter. Dette er 21 prosent lavere enn utslippene i 2005. Den årlige nedskaleringsfaktoren gjelder også etter 2020.

I tredje kvoteperiode er omfanget av EU ETS utvidet til å inkludere flere sektorer og gasser enn i forrige kvoteperiode, og omfatter nå om lag 45 prosent av utslippene i EU og om lag 50 prosent av norske utslipp. Hovedregelen i EUs kvotedirektiv er at kvoter skal selges og/eller auksjoneres, men kvotedirektivet åpner for vederlagsfri tildeling til en del sektorer frem til 2027. Virksomheter som ikke er utsatt for karbonlekkasje vil få redusert vederlagsfri tildeling hvert år frem mot 2020, mens virksomheter som er utsatt for karbonlekkasje vil få lik, og i stor grad vederlagsfri, tildeling i hele perioden. EU definerer karbonlekkasje som økte CO₂-utslipp på grunn av at virksomheter flytter produksjonen til områder utenfor EU fordi de ikke kan prise ekstrakostnader som skyldes kvotesystemet inn i sine produkter uten å tape markedsandeler til konkurrenter i land utenfor EU ETS. De fleste energiintensive industribedrifter i Norge er definert som virksomheter utsatt for karbonlekkasje og får derfor tildelt en høy andel vederlagsfrie kvoter.

Det er per i dag et overskudd av kvoter i markedet på rundt 2 milliarder kvoter, noe som omtrent tilsvarer de årlige utslippene i EU ETS. Hovedsakelig skyldes dette overskuddet lavere aktivitet i europeisk industri enn forventet da kvotetaket ble satt som følge av finanskrisen. Kvoter kan overføres til neste periode og overskuddet forventes å ligge på dette nivået i det neste tiåret. I et forsøk på å korrigere denne markedsituasjonen er det besluttet å utsette auksjonering av 900 millioner kvoter til slutten av den tredje kvoteperioden. Denne såkalte "back-loading" vil i beste fall ha en midlertidig effekt på markedsbalansen og prisene i EU ETS, da kvotene er planlagt tilbakeført til markedet i 2019 (300 millioner kvoter) og 2020 (600 millioner kvoter).

Luftfart i EUs kvotehandelssystem

Innenriks luftfart stod i 2010 for et utslipp av klimagasser på 1,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, inkludert Forsvarets aktiviteter i Norge. Dette tilsvarer drøyt 2 % av de samlede utslippene av klimagasser i Norge, men representerer en økning på 26 % sammenlignet med utslippene i 1990. Klimagassutslipp fra fly som fyller drivstoff i Norge og flyr til utlandet (utenriks luftfart), utgjorde 1,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2010, en økning på 110 % sammenlignet med 1990. Utslipp fra utenriks luftfart er ikke regulert av Kyotoprotokollen, men er omfattet av EUs kvotesystem.

Utslipp fra luftfart ble inkludert i EUs kvotehandelssystem (EU ETS) fra 2012. I utgangspunktet var alle flygninger til og fra flyplasser i EØS-området omfattet av systemet. Det vil si at systemet både omfattet innenriks flygninger i EØS-land, flygninger mellom EØS-land og flygninger mellom EØS-land og tredjeland.

EU har nå endret regelverket slik at systemet bare omfatter flygninger internt i EØS-området i perioden 2013 til 2016. Det vil si at kravet om å levere inn kvoter tilsvarende utslipp av CO₂ faller bort på alle flygninger som går ut eller inn av EØS-området. Som følge av dette faller veldig mange langdistanseflygninger ut av systemet. I tillegg har EU valgt å unnta flygninger til noen av EUs ytterområder, slik som Kanariøyene. De nye innskrenkingene er en kraftig reduksjon av omfanget av systemet som nå dekker bare 25 % av utslippene sammenlignet med utgangspunktet.

EU begrunner unntaket for flygninger ut og inn av EØS med ønske om å tilrettelegge for forhandlinger om en global markeds mekanisme gjennom FNs luftfartsorganisasjon, ICAO. Under ICAOs generalforsamling i 2013 kom man til enighet om at det skulle etableres en global løsning som skulle legges frem på neste generalforsamling i 2016 og tre i kraft fra 2020.

Det er også gjort andre justeringer som reduserer omfanget av kvotesystemet for luftfart, blant annet er ikke-kommersielle luftfartsoperatører som har årlige utslipp under 1000 tonn unntatt kvoteplikt fra 2013. Dette er gjort for å lette administrasjonen av systemet fordi det er svært mange av denne typen operatører, mens de samlede utslippene er små.

Da kvoteplikten ble innført i 2012, ble CO₂-avgiften på mineralolje for kvotepliktig luftfart redusert tilsvarende forventet kvotepris. Den reduserte satsen for innenriks luftfart som omfattes av kvoteplikten er 0,43 kroner per liter i 2013. Størstedelen av innenriks luftfart omfattes av kvotesystemet og får dermed den reduserte satsen.

For 2014 ble satsene for innenriks luftfart økt med om lag 50 kroner per tonn CO₂ som tilsvarer 329 kroner per tonn CO₂ for innenriks, ikke-kvotepliktig luftfart og 219 kroner per tonn CO₂ for innenriks, kvotepliktig luftfart (tilsvarer 0,56 kr per liter). Utenriks luftfart er unntatt fra CO₂-avgift.

Forventninger til neste kvoteperiode - etter 2020

I januar 2014 la EU-kommisjonen frem et forslag til et klimamål og rammeverk for 2030. Hovedpunktene i forslaget er en ambisjon om at klimagassutslippene skal reduseres med 40 prosent fra 1990-nivå innen 2030, et overordnet mål om en andel fornybar energi på 27 prosent på i EU og en strukturell reform av EU ETS. Utslippskuttene på 40 prosent skal tas innad i EU uten bruk av internasjonale kreditter som for eksempel gjennom CDM. Det forutsettes at dette vil kreve 43 prosent reduksjon fra 2005-nivå i sektorene dekket av kvotesystemet, og 30 prosent reduksjon fra 2005-nivå i sektorene utenfor kvotesystemet. Det foreslås derfor at den årlige nedskaleringsfaktoren som bestemmer kvotetaket økes fra 1,74 prosent til 2,2 prosent. Dette vil bidra til å sikre at det foreslåtte målet om 40 prosent utslippsreduksjon nås og at utslippsreduksjonene frem til 2050 er i tråd med EUs målsetting om å redusere utslippene med 80-95 prosent fra 1990-nivå innen 2050. Det åpnes for at systemet med gratistildeling til konkurranseutsatt industri videreføres dersom andre land med store utslipp ikke innfører tilsvarende klimapolitikk.

I EU-kommisjonens forslag fra januar 2014 ligger det også inne en ytterligere markedsreform i form av en stabiliseringsreserve for kvotemarkedet. Hensikten med stabiliseringsreserven er å ta kvoter

ut av markedet hvis totalt antall kvoter i omløp i markedet er over et forhåndsdefinert nivå, og å føre kvoter fra reserven tilbake til markedet igjen hvis antall kvoter i omløp faller under et forhåndsdefinert nivå. Formålet er å redusere overskuddet av kvoter fra tredje kvoteperiode og å forhindre at et tilsvarende overskudd bygger seg opp i framtiden. Forslaget fra EU-kommisjonen er gjenstand for politisk debatt, og en beslutning vil trolig bli fattet i løpet av høsten 2014. Point Carbon forventer en karbonpris på €48 i 2030. Denne prisframskrivingen er basert på EU-kommisjonens forslag til et 2030 rammeverk, inkludert stabiliseringsreserven. Hvis stabiliseringsreserven ikke implementeres er forventet karbonpris i 2030 40 prosent lavere (Point Carbon, 2014).

4.1.3.3 Tiltak i kvotepliktig sektor

Et viktig aspekt ved EU ETS er at det er et regionalt virkemiddel. Formålet er å redusere utslippene i EU som helhet uten føringer på hvilke land utslippsreduksjonene skjer i. Handel med utslippsreduksjoner bidrar til at utslippsreduksjonene finner sted der det er billigst. EU ETS er med andre ord ikke innrettet for å sikre utslippsreduksjoner i det enkelte land som deltar i systemet og alle land som er med i EU ETS, bortsett fra Norge og Liechtenstein, har et felles utslippsreduksjonsmål på EU-nivå. Det er per i dag ikke mulig å sikre at EU ETS vil redusere utslippene i Norge i betydelig grad. Selv om kvotetaket blir strammere i framtiden, og prisene går opp, vil det neppe føre til store utslippskutt i Norge frem mot 2030 fordi kostnaden for utslippsreducerende tiltak ofte er høyere i Norge enn i mange andre europeiske land. Dette skyldes blant annet at vi allerede har en nærmest utslippsfri kraftproduksjon i fastlands-Norge. I resten av EU vil energieffektivisering redusere behovet for fossil kraftproduksjon og føre til at utslippene går ned. Dette er ofte billigere tiltak enn tiltak i norsk landbasert industri og petroleumssektoren (beskrevet i kapittel 4.2 og 4.3).

Selv om Norge og Liechtenstein er de eneste landene som er med i EU ETS uten å være en del av EUs felles klimamål er ikke problemstillingen skissert over unik for disse landene. Sverige har for eksempel etablert et eget utslippsmål for 2020, men har valgt å begrense dette til bare å gjelde for ikke-kvotepliktige sektorer. Storbritannia på den annen side har egne og mer ambisiøse utslippsmål enn de vedtatt på EU-nivå, også for utslippene fra kvotepliktig sektor. De har tatt konsekvensen av dette ved å innføre et prisgulv på kvoteprisen for kvotepliktige virksomheter i kraftsektoren. Den britiske klimaloven (Climate Change Act 2008) åpner også for at overflødige kvoter kan slettes dersom det tildeles et antall kvoter til Storbritannia som er for høyt i forhold til de britiske karbonbudsjettene (UK Climate Change Act , 2008; FNI, 2014).

Norge har i dag flere tilleggsvirkemidler i kvotepliktige sektorer, blant annet CO₂-avgiften og muligheten til å få støtte fra Enova, Transnova og Gassnova.

Kvotetaket reduseres årlig med 1,74 prosent, og det har nå blitt foreslått å øke denne nedskaleringsfaktoren til 2,2 prosent. Selv om dette vil sikre en utvikling i kvotepliktig sektor i tråd med EUs mål om å redusere utslippene med 80-95 prosent fra 1990-nivå innen 2050, bidrar ikke dagens prisforventninger til en rask omstilling blant kvotepliktige virksomheter.

Som nevnt i kapittelet over er formålet med EU ETS er todelt: Systemet skal sikre at utslippene fra de kvotepliktige virksomhetene reduseres i henhold til overordnede reduksjonsmål og systemet skal gi de prissignalene som trengs for at de kvotepliktige virksomhetene utvikler og legger om til mer klimavennlige teknologier. Dagens lave kvotepris gir ikke de nødvendige prissignalene som trengs for at de kvotepliktige virksomhetene utvikler og legger om til mer klimavennlige teknologier. Det er uklart hvor lang tid det vil ta før overskuddet av kvoter vil reverseres, men det er forventet at man

har et overskudd i markedet over det neste tiåret selv om EU-kommisjonens innstramningsforslag godkjennes.

Tilleggsvirkemidler kan bidra til å starte den tidkrevende prosessen det er å utvikle de nye prosesssteknologiene vi trenger, og dermed unngå unødvendig høye kvotepriser mot 2050.

For Norge vil det være vanskelig å gjennomføre omfattende utslippskutt uten tilleggsvirkemidler som sannsynliggjør teknologiløp som fører til CCS i industrien og/eller ny teknologi som reduserer prosessutslipp. Å starte omstillingen mot et lavutslippssamfunn handler ikke bare om å bidra til globale utslippsreduksjoner, men også om å framtidsrette norsk industri.

For petroleumssektoren har dagens kvotepris liten påvirkning på investeringsbeslutninger. Det vil bli krevende å ta påta seg ambisiøse forpliktelser frem mot 2030 uten tilleggsvirkemidler som bidrar til store nye utslippsreduksjoner fra petroleumssektoren.

Utfordringen blir å balansere kortsiktig kostnadseffektivitet mot behovet for å forsere den nødvendige langsiktige omstillingen mot et lavutslippssamfunn også i kvotepliktig sektor.

Det er viktig å ha et bevisst forhold til kvotesystemets rolle og effekten av norske utslippsreduksjoner i kvotepliktig sektor. For eksempel vil utstrakt bruk av tilleggsvirkemidler i norsk kvotepliktig sektor alene gi et overskudd av kvoter som i et strammere marked ville ført til at utslippene i resten av EU ETS går opp. Så lenge det er et stort overskudd av kvoter i markedet totalt sett vil imidlertid ikke overskuddskvoter som følge av norske tilleggsvirkemidler nødvendigvis føre til høyere utslipp i andre land i EU ETS.

Utforming av tilleggsvirkemidlene bør derfor også ta høyde for at mange bransjer i Norge er konkurranseutsatte.

4.1.3.4 Energieffektivisering og elektrifisering

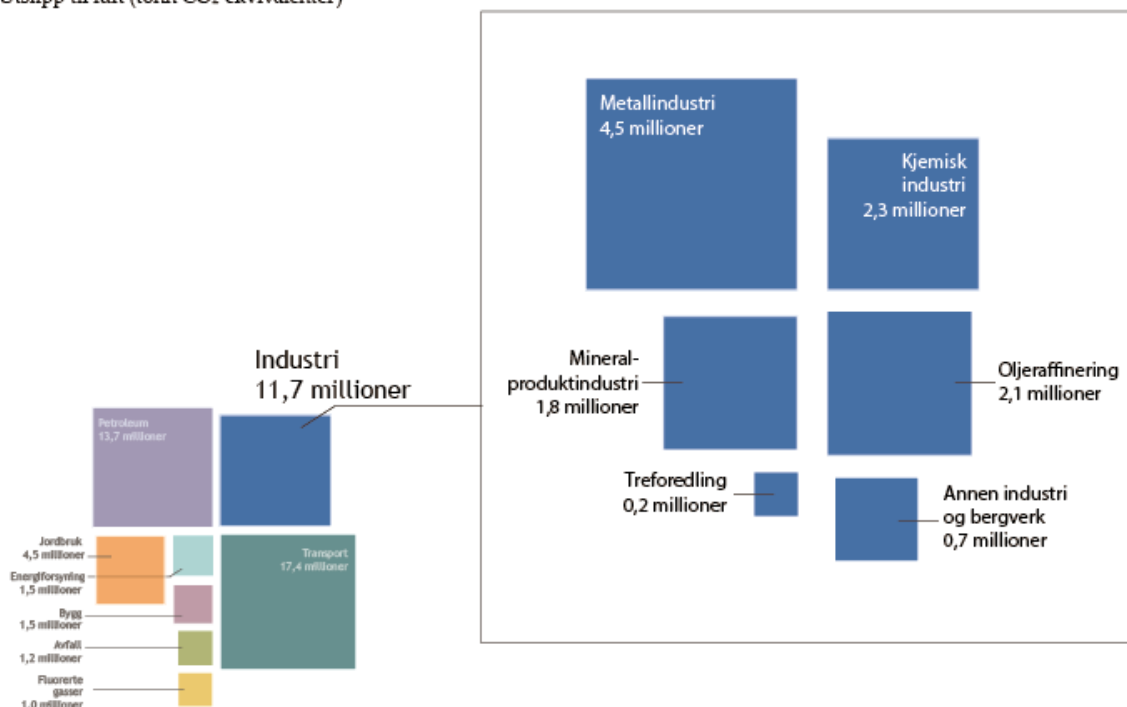
Som de etterfølgende sektorkapitlene i denne rapporten vil vise, er energieffektivisering og økt bruk av elektrisitet viktige tiltak for å redusere utslipp i alle sektorer. I det nasjonale utslippsregnskapet rapporteres utslippene fra den kilden som genererer utslippet. Det blir svært små klimagassutslipp fra produksjon av elektrisitet da norsk elektrisitet i all hovedsak produseres fra vannkraft. Å redusere bruk av elektrisitet gir derfor ingen effekt på det norske klimagassregnskapet. Energieffektivisering frigjør elektrisitet til annen bruk, for eksempel innen transport eller oppvarming i bygg, og det reduserer behovet for å bygge ut mer fornybar energi. All energiproduksjon, også fornybar, har miljøkonsekvenser og fører til naturinngrep.

Forutsetning for et globalt lavutslippssamfunn er at kraftsektoren globalt utvikler seg mot nullutslipp. I et lavutslippsperspektiv må fossile energibærere erstattes med rene energibærere som varme og elektrisitet - og disse må ha fornybar opprinnelse. En slik omstilling vil ta tid. Kraft og varmeproduksjon må bli fornybar og fossilt forbruk i bygg og transportsektoren må erstattes med rene energibærere. Det betyr at omstilling til en energibærer som kan baseres på ren kraft er en god og langsiktig strategi innen alle sektorer. Ren elektrisitet vil være et knapphetsgode i lang tid fremover og energieffektiviseringstiltak er derfor viktig i et globalt perspektiv.

4.2 Industri

Utslipp av klimagasser fra industrisektoren i 2012

Utslipp til luft (tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 4-4 Utslipp fra industrien i 2012.

4.2.1 Innledning

Dette kapittelet omhandler industriens rolle på veien til et lavutslippssamfunn, og peker på muligheter Miljødirektoratet ser for veien dit. Innledningsvis gjør vi rede for hva sektoren omfatter. Deretter beskrives utslippene fra sektoren slik de er i dag, hvordan utslippsutviklingen har vært siden 1990 og hvordan utslippsutviklingen forventes å bli fram mot 2050 basert på framskrivninger gitt dagens tiltak og virkemidler. Videre vendes blikket frem mot 2050 og teknologi som kan bidra til at industriproduksjonen i Norge har lavere utslipp av klimagasser. Til slutt brukes denne kunnskapen for årene 2025 og 2030, for å peke på mulige tiltak som kan gjennomføres innen dette tidsrommet og som vil være viktige for å kunne nå lavutslippssamfunnet på lengre sikt.

Industrisektoren omfatter treforedling, oljeraffinering, kjemisk industri (petrokjemisk industri og produksjon av mineralgjødsel), mineralsk industri (produksjon av sement, kalk og gips), metallproduksjon og annen industri (herunder næringsmiddelindustri og verkstedindustri). Industrisektoren omfatter ikke gassterminaler, som hører til i petroleumssektoren, og heller ikke gass- og varmekraftverk samt fjernvarme, som tilhører sektoren energiproduksjon.

CO₂-avgiften var lenge hovedvirkemiddelet for å begrense industriens utslipp av CO₂. I dag er en stor del av industrisektoren omfattet av EUs kvotesystem (EU Emission Trading Scheme), se nærmere beskrivelse i kapittel 4.1. Landbasert industri som omfattes av kvotesystemet er fritatt for CO₂-avgift. Bransjer som benytter olje i stasjonær forbrenning og som ikke omfattes av kvotesystemet er i størst grad berørt av CO₂-avgiften i dag. Dette er i hovedsak næringsmiddelindustri og mindre produksjonsbedrifter i ulike sektorer.

Om lag 90 prosent av dagens utslipp fra industri er omfattet av EUs kvotesystem. Det betyr at bedriftene hvert år må overføre et antall kvoter (utslippsretter) til oppgjør som svarer til bedriftenes kvotepliktige utslipp det foregående året. Kvoteprisen er rundt 50 kroner/tonn CO₂-ekvivalenter per september 2014, noe som tilsier at det er få utslippsreducerende tiltak i dag som er direkte lønnsomme å gjennomføre.

I tillegg til kvotemarkedet kan industrien i Norge få støtte fra Enova til energieffektivisering, energiomstilling og teknologiutvikling. Enovas program for støtte til ny energi- og klimateknologi ble introdusert i 2012, og fordelte 176 millioner kroner på 19 prosjekter i 2013.

I en oppdragsrapport fra Miljødirektoratet (Carbon Limits, 2014) ble det rapportert at industrien ikke baserer seg på dagens kvoteprisinivå i sine beslutninger om investeringer generelt eller klimatiltak spesielt, og at den viktigste driveren for industriens investeringer i klimavennlig teknologi er forventninger om at klimagassutslipp kan bli dyrere i nær framtid (Carbon Limits, 2014).

Gitt dagens regelverk, kan ikke forurensningsmyndighetene direkte regulere utslipp av klimagasser fra industrien. Forurensningsloven krever imidlertid at beste tilgjengelige teknologi (BAT) benyttes. Alle utslippstillatelser setter vilkår om at bedriftene må etablere energiledelse og i størst mulig grad utnytte overskuddsenergi. Klima- og Miljødepartementet har hjemmel i Forurensningsloven til å sette teknologikrav for å redusere klimagassutslipp. Dette gjelder også utslipp som er kvotepliktige etter klimakvoteloven med tilhørende forskrift. Denne hjemmelen er per i dag bare blitt benyttet i regulering av nye gasskraftverk.

Hvilke tiltak som kan utløses på relativt kort sikt (2025/2030) vil avhenge av hvilke løsninger som finnes innenfor dagens eller morgendagens teknologi. Tidspunktet for når tiltak blir gjennomført vil avhenge av dagens kvotepris, forventninger til fremtidig kvotepris, og om de økonomiske incentivene er sterke nok til å utløse tiltakene. Gjennomføring av tiltak er derfor avhengig av økonomiske rammebetingelser og bedriftens strategiske beslutninger knyttet til investeringer og omstilling.

I et 2030-perspektiv har vi antatt at industristrukturen i Norge er omtrent som i dag. Dette er også i tråd med framskrivingene (fra PM2013) som legges til grunn for analysen. Dette er selvfølgelig en forenkling av hva som vil skje, fordi omstillinger også må forventes før 2030. Vi ser for eksempel at det i treforedlingsindustrien allerede skjer omstillinger som antagelig ikke er tilstrekkelig reflektert i framskrivingene.

Vi antar at det før og etter 2050 kan skje store strukturelle endringer, både i form av type industribransjer og teknologi. Det kan og bør forventes nye teknologiske løsninger som reduserer utslipp som det i dag ikke finnes gode løsninger for. Framvekst av industri som produserer varer som etterspørres i et lavutslippssamfunn må også kunne forventes, og at produksjonen foregår med teknologier som gir mindre utslipp enn dagens teknologi. Utslippskutt vil i mange tilfeller kunne bety etablering av ny industri med ny teknologi.

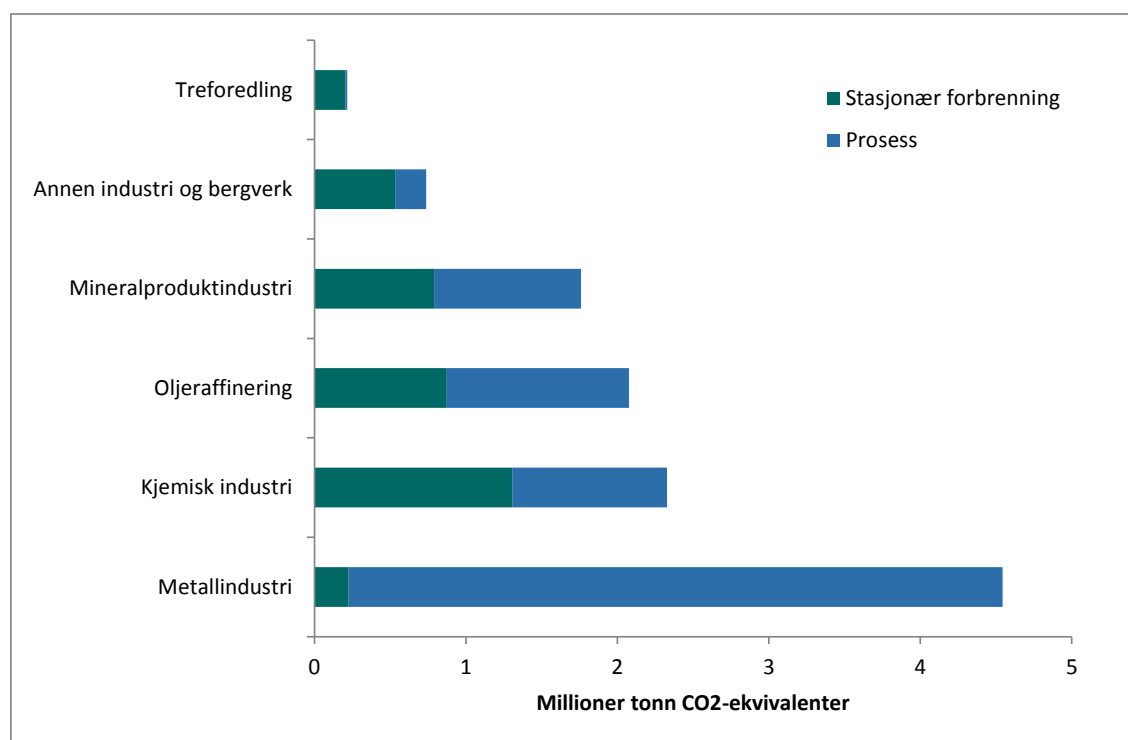
Vi har under arbeidet med dette kapittelet hatt god dialog med en rekke bedrifter og med Norsk Industri. De har bidratt med mye informasjon og har også sjekket faktaopplysninger. Enova har også vært en viktig samarbeidspartner. Sammenstilling og resultater står imidlertid for Miljødirektoratets regning.

4.2.2 Utslipp og framskrivninger

4.2.2.1 Beskrivelse av utslippskilder i industrien

Industriktorens utslipp av klimagasser var på 11,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012. Dette utgjorde 22 prosent av de samlede norske klimagassutslippene. Nesten 40 prosent av industriens utslipp er fra metallindustrien, hvor mesteparten av utslippene kommer fra produksjon av ferrolegeringer og aluminium. Kjemisk industri står for 20 prosent av utslippene, dette er fra petrokjemi og produksjon av kunstgjødse. Andre viktige kilder er oljeraffinering (18 prosent) og mineralindustri (15 prosent). Figur 4-4 viser utslipp av klimagasser i industriktoren i 2012 fordelt på ulike kilder.

Klimagassutslippene fra industrien skyldes både energiforbruk (utslipp fra forbrenning av fossile brensl) og industrielle prosesser (som blant annet inkluderer utslipp fra bruk av kull som reduksjonsmiddel, utslipp fra spalting av kalkstein ved produksjon av klinker i sementproduksjon, utslipp fra lystgass fra mineralgjødseproduksjon og utslipp av PFK fra aluminiumindustrien). Figur 4-5 viser fordeling mellom prosessutslipp og forbrenningsutslipp i industrien slik den var i 2012.



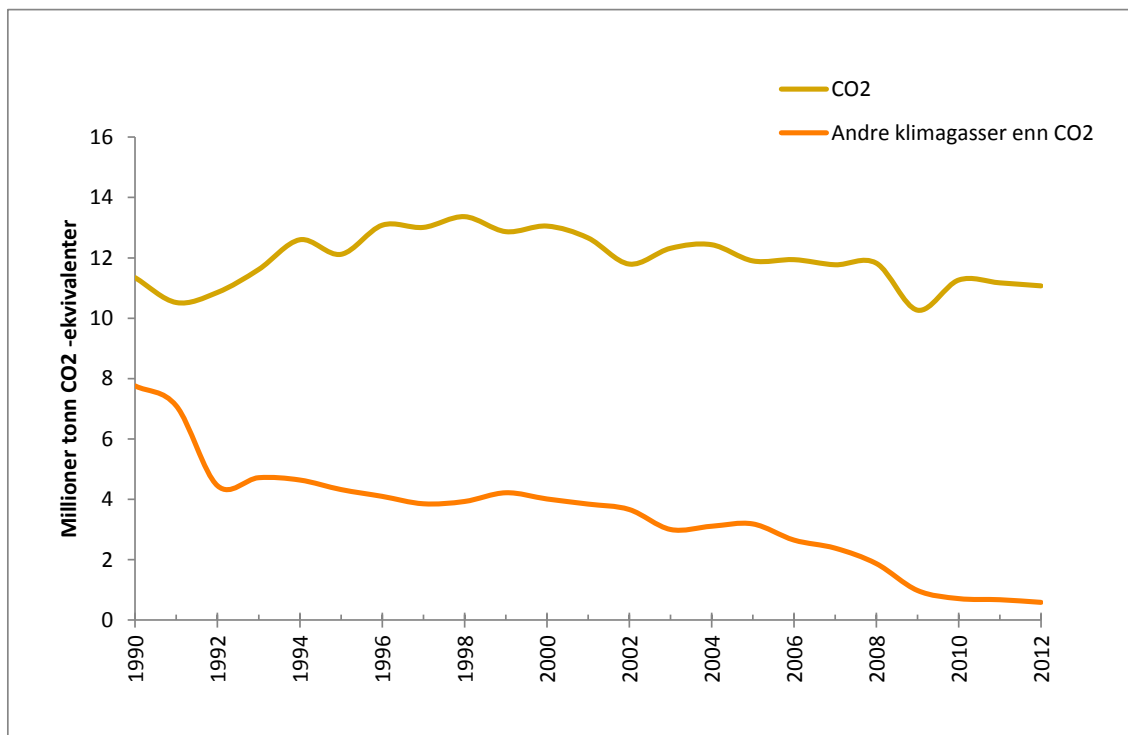
Figur 4-5 Fordeling mellom forbrenningsutslipp og prosessutslipp i industrien i 2012. Kilde: Miljødirektoratet 2014.

Figur 4-5 viser at en stor andel av de totale utslippene fra ferrolegeringsindustrien, aluminiumsindustrien, raffineriene og mineralsk industri er prosessutslipp.

Av det totale utslippet fra industrien i 2012 utgjorde rundt 7,7 millioner tonn (66 prosent) prosessutslipp, mens rundt 4 millioner tonn (34 prosent) stammet fra forbrenning av fossile energivarer. Av forbrenningsutslippene kan ca. 1 million tonn fjernes ved energieffektivisering og overgang til fornybare energibærere. Resten av forbrenningsutslippene kommer hovedsakelig fra brenning av fyrgasser og syntesegasser, som er gasser fra prosessen som utnyttes til energiformål.

Verdien av industriproduksjonen har samlet sett økt fra 1990 til 2012, mens utslippene i industriktoren ble redusert med 38 prosent i samme periode. Denne utslippsreduksjonen er primært knyttet til omstilling i industrien og reduksjon i prosessutslippene, og det er i hovedsak

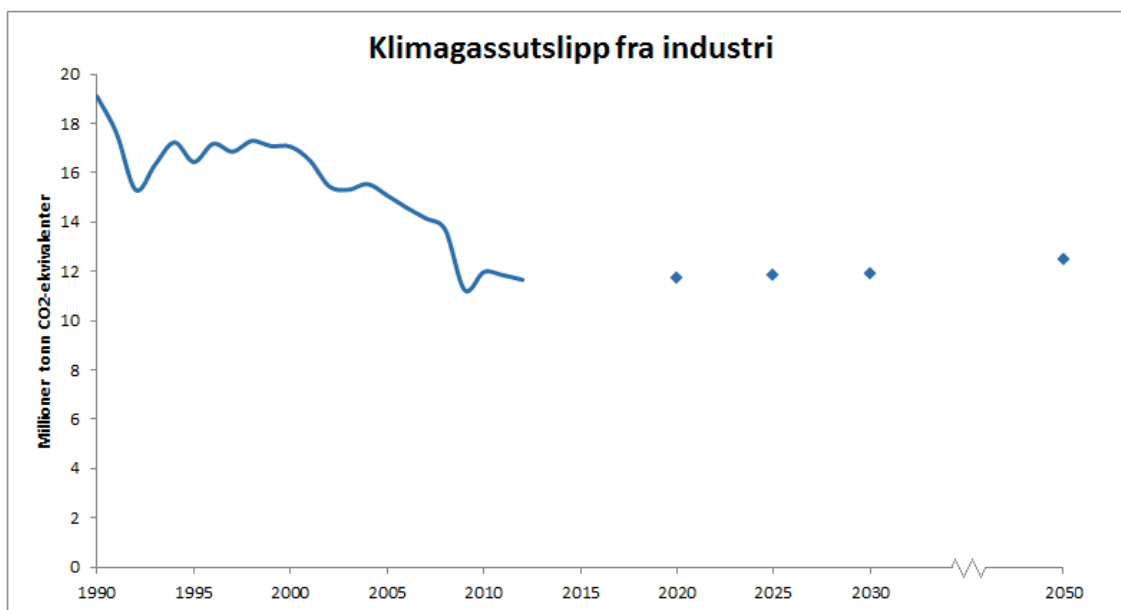
prosessrelaterte utslipp som svovelheksafluorider, perfluorkarboner, og lystgass som er redusert gjennom prosessoptimalisering (aluminiumsindustrien og magnesiumproduksjon), teknologiutvikling (mineralgjødselindustri) og nedleggelser (magnesiumproduksjon og treforedling). CO₂-andelen utgjør 95 prosent av sektorens utslipp i 2012. Figur 4-6 illustrerer denne utviklingen.



Figur 4-6 Utslippsutvikling av CO₂ og andre klimagasser enn CO₂ i industrien. Kilde: Miljødirektoratet 2014.

4.2.2.2 Beskrivelse av framskrivingene

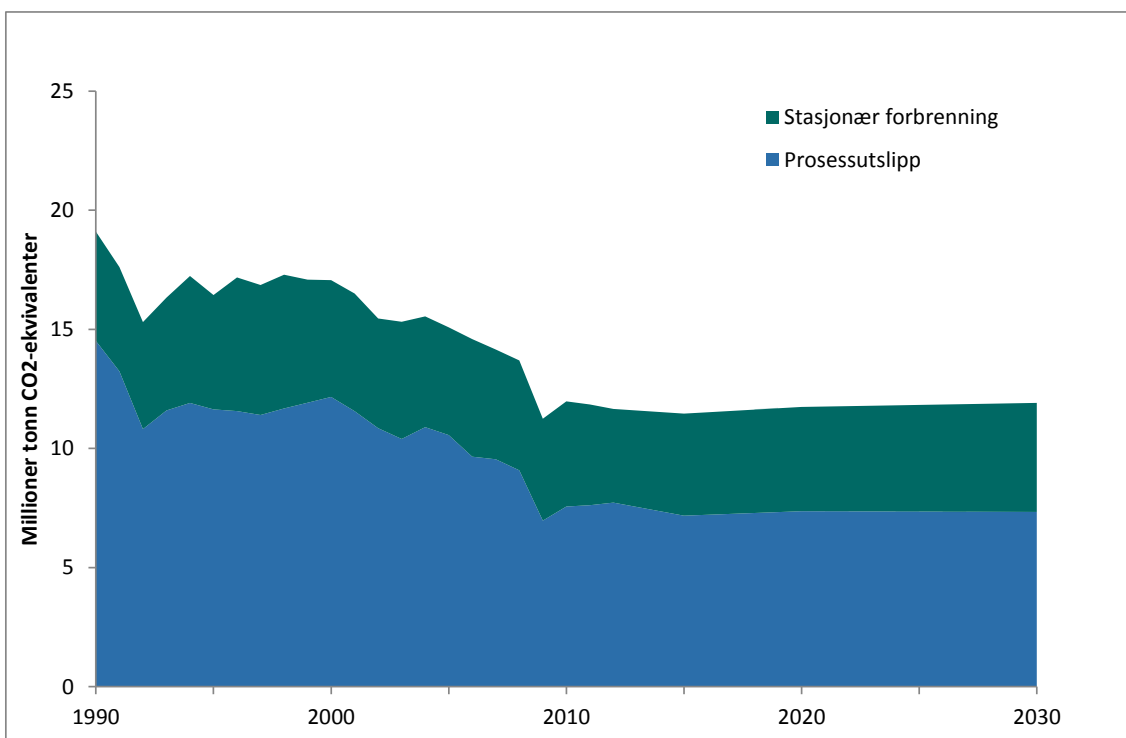
Figur 4-7 viser de historiske utslippene for 1990-2012 og framskrivinger for 2020, 2025, 2030 og 2050 for industrisektoren. Framskrivingene (bygger på PM2013) tilsier at utslippene vil kunne øke svakt med 0,7 prosent fra 2012 til 2020 og med 1,4 prosent fra 2020 til 2030 gitt dagens virkemidler. I framskrivingene er det ikke lagt til grunn ekstraordinære nedleggelser av bedrifter utover det som måtte følge av utvikling i relative priser og internasjonale etterspørselsforhold. Det er heller ikke lagt inn etablering av ny industri med vesentlige utslipp av klimagasser.



Figur 4-7 Utslippsutvikling (1990–2012) og framskrivinger (2020–2050) for industrien. Kilde: Miljødirektoratet og Finansdepartementet 2014.

Det er lagt til grunn i framskrivingene at aktivitetsnivået i kraftintensiv industri vil holde seg på om lag 2010-nivå. For aluminium er det er lagt til grunn 0,2 prosent årlig vekst i produksjonen og at utslipp av PFK per tonn aluminium er tilsvarende som i 2011 (bedriftsspesifikt). For N_2O fra produksjon av salpetersyre er det er lagt til grunn en gjennomsnittlig vekst i produksjonen på 0,1 prosent for årene 2011-2030. Spesifikt utslipp som i 2011 er holdt konstant på 0,56 kg N_2O per tonn salpetersyre.

Figur 4-8 viser historiske utslipp og framskrivinger fordelt på stasjonær forbrenning og prosessutslipp fra 1990 til 2050.



Figur 4-8 Framskrivinger fordelt på stasjonær forbrenning og prosessutslipp. Kilde: Miljødirektoratet 2014.

Figur 4-8 viser at utslipp fra stasjonær forbrenning og fra prosessutslipp er redusert i omtrent samme omfang siden 1990, og at det i framskrivingene antas samme utvikling. Figuren illustrerer at framskrivingene forutsetter at de virkemidler som var implementert innen 2012 ikke var tilstrekkelig for å redusere utslipp i sektoren.

4.2.3 Industrisektoren i et lavutslippssamfunn

4.2.3.1 Mot en utslippsfri industrisektor?

Som vist i Figur 4-6 så er mye gjort i fastlandsindustrien for å redusere prosessutslipp av andre klimagasser enn CO₂ - som PFK, SF₆ og N₂O - som dannes i prosessene og fjernes med prosessforbedringer og ved utvikling av ny prosessteknologi. For bransjer som ferrolegeringer, aluminium og mineralsk industri må det teknologi på plass som reduserer prosessutslippene av CO₂.

En studie av hvordan Tyskland kan bli et lavutslippssamfunn i 2050 konkluderer med at det er teknisk mulig å redusere utslippene fra industrien med 75 prosent i forhold til 2010, uten å ta i bruk CCS (UBA, 2013). Men denne studien baserer seg blant annet på en storskala produksjon av metan via hydrogenproduksjon fra fornybare kilder, og at en rekke umodne teknologier oppnår fullt gjennomslag i 2050. En annen studie som tar for seg Storbritannias potensiale for CCS konkluderer med at rundt 38 prosent av industriutslippene vil kunne fjernes med CCS i 2050 i forhold til framskrivninger (Element Energy Limited, 2010).

I dette kapittelet går vi gjennom de viktigste kildene til klimagassutslipp, og ser på løsninger både på kort- og mellomlang sikt (2025/2030) og i et lengre perspektiv (2050 og etter). Tiltakene som vurderes som aktuelle på kort og mellomlang sikt, er hovedsakelig tiltak som kan gjennomføres med kjent teknologi. Mange av teknologiene som vi beskriver her som muligheter i et lengre perspektiv er umodne teknologier som i mange tilfeller kun eksisterer i laboratorier eller mindre testanlegg. Det er derfor knyttet stor usikkerhet til hvorvidt, og i tilfelle når, disse teknologiene vil være mulige å industrialisere.

4.2.3.2 Utslippskilder og viktige teknologier

Forbrenning av fossile energivarer i industrien

Industrien bruker energi for å drive kjemiske reaksjoner, lage varme og til mekanisk arbeid. Bruken av fossile energivarer kan reduseres gjennom kombinasjon av effektivisering og overgang til elektrisitet, hydrogen eller biobrensel.

Utslipp knyttet til fossil energibruk i bransjer som treforedling, næringsmiddelindustri (under "annen industri og bergverk" i Figur 4-5) og metallindustri utgjør rundt 1 million tonn CO₂-ekvivalenter. I vår analyse har vi lagt til grunn at det på mellomlang sikt vil være mulig å redusere denne energibruken. I tiltaksanalysen mot 2030 (kapittel 4.2.4) har vi lagt inn tiltak med en fordeling ut fra økende grad av kostnader og synkende grad av gjennomførbarhet, da vi forutsetter at det vil kunne være store forskjeller på kostnadene gitt anleggsspesifikke forhold. Anslaget er gjennomført med utgangspunkt i en oppdatert studie av tiltak fra Klimakur.

For den kjemiske industrien og raffineriene stammer imidlertid mye av forbrenningsutslippene fra interne gasser som genereres som en del av prosessen. Det betyr at konvertering til fornybare energibærere ikke vil redusere utslippene da de interne gassene uansett må håndteres. En del typer mineralsk industri trenger svært høye temperaturer, og dette gjør at heller ikke disse forbrenningsutslippene enkelt kan fjernes helt, dessuten brukes sement- og kalkovner til å destruere avfall. Tiltak knyttet til reduksjon av forbrenningsutslipp i raffinerier,

mineralgjødselindustri, petrokjemisk industri og sementindustrien er derfor omtalt separat i hver enkelt sektor. De totale forbrenningsutslippene for disse sektorene utgjør rundt 3 millioner tonn i 2012. I tiltaksvurderingen for 2030 er det lagt inn at CCS kan bidra til å redusere deler av disse.

CCS i industrien

Uten utstrakt bruk av CCS anslår IPCC at de totale kostnadene knyttet til å nå togradersmålet vil stige med 30 - 300 prosent. I IPCC lavutslippsscenarioer ligger CCS inne som en teknologi som tas i bruk i industrien i et noe lengre perspektiv, med anslåtte kostnader på 50-150 USD₂₀₁₀/tonn (IPCC, 2014). For en mer generell diskusjon av CCS som teknologiløsning, se vedlegg 3.

I IEAs togradersscenario står CCS for 1/6 av CO₂-reduksjonene i 2050, og 14 prosent av de kumulative utslippsreduksjonene mellom 2015 og 2050. 45 prosent av dette er forutsatt å komme fra industri: 25-40 prosent av produksjonen av sement, jern og stål og kjemikalier må være utstyrt med CCS i 2050 (IEA, 2012). Videre beskriver IEA i Technology Roadmap Carbon Capture and Storage fra 2013 (IEA, 2013a), at dette tiåret er kritisk hvis CCS skal få dette omfanget i 2050. De anbefaler at regjeringer og industrien bør få på plass minst 30 storskala demonstrasjonsprosjekter fordelt på forskjellige typer anlegg og sektorer innen 2020.

I Klimakur 2020 ble CCS på diverse norske industrianlegg vurdert. Fangstkostnadene ble estimert under forutsetning av at anleggene var "nr.10" det vil si. at kostnadene var redusert vesentlig som følge av læring, og at transport og lagring av CO₂ var samordnet for flere anlegg. Kostnadene i denne studien varierte fra 890 - 1700 kr/tonn CO₂.

Kostnadsestimatene tar utgangspunkt i at karbonfangst ettermonteres på eksisterende anlegg. Teknologien som benyttes i de norske estimatene er røykgassrensing med bruk av aminer. Det som driver kostnadene i denne typen anlegg er mengden røykgass og konsentrasjonen av CO₂ i denne gassen. Hvor mye forurensning som det er i avgassen vil også spille en rolle, fordi bare en viss mengde av forskjellige typer forurensning kan tolereres i fangstanlegget. I tillegg vil det være store forskjeller i kostnader mellom forskjellige eksisterende anlegg, avhengig av hvor mye plass de har tilgjengelig, hvor vanskelig det er å integrere karbonfangstanlegget på fabrikken, hvor mye overskuddsvarme som er tilgjengelig og hvor lett det er å skaffe kjølevann. Ikke alle disse kostnadene er inkludert i de norske vurderingene (Tel-Tek, 2009). Transportkostnadene vil tilsvarende også variere fra sted til sted. Lagringskostnadene påvirkes naturlig nok mye av hvor mange anlegg (hvor store utslipp) som kan benytte seg av lageret og tilhørende infrastruktur.

Kostnadene fra Klimakur er også basert på en ganske høy fangstgrad. Det kan være at et noe lavere ambisjonsnivå vil kunne gjøre karbonfangst mer økonomisk gunstig på en del anlegg, dersom de i større grad kan basere fangstanlegget på overskuddsvarme de har tilgjengelig og begrense seg til å installere rensing på færre kilder på hvert anlegg. Dette er ikke utredet i denne rapporten. Det er også forutsatt at naturgass brukes for å skaffe til veie den ekstra varmen fangstanleggene vil trenge, og utslippene fra denne forbrenningen gjør at mengden CO₂ redusert blir en god del lavere enn mengden CO₂ som fanges. Det kan imidlertid tenkes at å ta i bruk andre alternativer enn naturgass kan gjøre at mengden CO₂ redusert blir høyere. Dette er ikke utredet.

Det finnes også andre typer fangstteknologier som er på ulike stadier av utvikling, og noen fangstteknologier kan kanskje egne seg bedre enn andre for ulike typer industri. For eksempel vil ikke nødvendigvis alle ha behov for like mye energi som aminteknologiene. Hvordan andre typer fangstteknologi kan påvirke potensialer og kostnader er ikke utredet.

De norske punktkildene er ganske få, geografisk spredd og mange av dem er relativt små. I Klimakur fant man ikke noen vesentlige kostnadsreduksjoner ved utvikling av CCS på industriklynger i Norge utover det å dele noen av kostnadene for infrastruktur for transport og lagring. I et svært langt tidsperspektiv kan man se for seg at industrien i større grad enn i dag lokaliseres slik at kostnadsbesparelsene ved samkjøring kan utløses, og lokale barrierer minimeres. Nye prosessanlegg kan også optimaliseres i designfasen for å gjøre CCS enklere.

Nye løsninger i treforedlingsindustrien

Norsk treforedlingsindustri er blitt sterkt restrukturert de siste årene fordi etterspørsel etter trykkepapir har blitt mindre. Eksisterende utslipp fra denne bransjen er dermed redusert både på grunn av strukturelle endringer i bransjen, men også på grunn av gjennomførte tiltak. Det er fortsatt et stort potensiale for reduksjon av utslipp knyttet til forbrenning av fossil olje og gass i bransjen. Å redusere disse utslippene er teknisk mulig, men vil ha varierende kostnader. Slike tiltak er inkludert i vår analyse og antas å kunne gjennomføres før 2030.

Det kan ligge en mulighet for å få på plass karbonnegative løsninger dersom CCS brukes på CO₂-utslipp fra forbrenning av biomasse i treforedlingsindustrien i framtiden.

Selv om flere av markedene for tradisjonelle papirbaserte produkter reduseres, forventes etterspørsel etter biobaserte materialer, kjemikalier og energiprodukter likevel å øke. Dette gir gode muligheter for framtidig produksjon i bioraffinerier (Skog22, 2014). Etablering av bioraffinerier kan bidra til å levere biologiske råvarer til annen industri og dermed redusere bruk av fossile råvarer. Trefiberkompositter (det vil si bruk av tre som forsterkende materiale i plast), biobaserte kjemikalier og bioplast er eksempel på slike biologiske råvarer. Bioraffinerier kan også levere bioetanol eller biodiesel til fossilfri oppvarming eller drivstoff, og pyrolyseolje til biobasert fyringsolje eller drivstoff.

I Norge er Borregaard et eksempel på et bioraffineri med produksjon av spesialcellulose (som går til bygningsmaterialer, tekstiler, næringsmidler med mer), ligning (som brukes blant annet i betong, dyrefor), vanillin (som brukes blant annet i næringsmidler og parfyme) og bioetanol (som brukes blant annet i drivstoff, maling og lakk og andre løsemidler).

Biobasert plast

I 2012 ble det produsert om lag 288 millioner tonn fossilt basert plast i verden. Produksjonen førte til utslipp av anslagsvis 600 millioner tonn CO₂. I tillegg kommer utslipp ved forbrenning av fossilt basert plastavfall. Størst bruk av plast i Europa er til emballasje, med 40 % av forbruket.

Det finnes en rekke typer biobasert plast som produseres fra ulike typer biomasse. En del typer biobasert plast er i tillegg nedbrytbar. Produksjon og bruk av biobasert plast øker, og i 2012 var globalt produksjonskapasitet på 1,4 millioner tonn (inkl. bionedbrytbar plast). Flasker og annen emballasje utgjør de to klart største bruksområdene. European Bioplastics forventer at det vil bli en stor økning i produksjonen i de kommende årene. Forutsatt at produksjon av biomassen skjer på en bærekraftig måte, kan økt bruk av biobasert plast gi reduserte klimagassutslipp og andre positive miljøeffekter i Norge og andre land.

Størstedelen av den biobaserte plasten er nå av plasttyper som er fullt materialgjenvinnbare (som bio-PE og bio-PET30). Til noen bruksformål benyttes det imidlertid hovedsakelig bionedbrytbar plast

Eksempel: Det produseres råstoff til bioplastproduksjon i Norge av Borregaard, som lager spesialcellulose fra trevirke som brukes til å lage celluloseacetat - en type bioplast som blant annet brukes i brilleinnfatninger og i de røde transparente skaftene til skrujern.

Kilder: (Plastics Europe, 2013; European bioplastics, 2013; Ecoinvent, 2014)

Nye løsninger i metallindustrien

Aluminium

Norge er verdens niende største produsent av aluminium, med omkring 2,5 prosent av verdensproduksjonen (USGS, 2014). Produksjonen foregår ved syv verk, kontrollert av Hydro Aluminium og Alcoa. Utslippene fra bransjen utgjør over 4 prosent av Norges totale utslipp.

Den industrielle framstillingen av aluminium foregår i dag ved elektrolyse (Hall-Heroult prosessen). Utslippene fra norske virksomheter kommer hovedsakelig fra forbruk av anoder, utslipp av PFK og forbrenning av naturgass/LNG/LPG. Virksomheter som har produksjon av anoder, har også utslipp knyttet til forbruk av pakkoks og forkoking av grønne anoder. Utslippene fra anodeforbruket i elektrolysen omfatter i dag omtrent 80 prosent av utslippet fra sektoren.

Muligheter på kort og mellomlang sikt

Utslippene fra PFK har blitt redusert til ca. 170 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2012, og på kort sikt bør det være mulig å redusere utslippene av PFK-gasser videre. Utslippet til "den beste i bransjen" var på 0,02 tonn PFK i CO₂-ekvivalenter per tonn aluminium i 2012, mens det i framskrivingene er antatt et gjennomsnittlig spesifikt utslipp på 0,2 tonn per tonn. Vi forutsetter at det spesifikke PFK-utslippet kan reduseres for bransjen som helhet ned mot 0,02 tonn CO₂-ekvivalenter per tonn produsert aluminium.

I Klimakur ble det vurdert som et tiltak å skifte ut pakkoks i anodeproduksjonen med biokull. Dette kan kanskje være en mulighet på sikt, men virker ikke så aktuelt basert på den informasjonen vi får fra bransjen. Vi har derfor valgt ikke å ta med dette tiltaket i denne analysen.

Muligheter på lang sikt

Tysklands 2050-studie (se kapittel 2) forutsetter at aluminiumsindustrien legger om til å bruke inerte anoder innen 2050. Biproduktet ved bruk av inerte anoder er rent oksygen, og en slik prosess skal derfor kunne foregå uten utslipp av klimagasser. Flere aluminiumsprodusenter har i lang tid

forsøkt å utvikle inerte anoder, uten at noen prosesser med inerte anoder har blitt industrialisert enda. RUSAL har meldt fra om at de kjører forsøk med inerte anoder ved sitt anlegg i Krasnoyarsk (RUSAL, 2013). De største problemene knyttet til inerte anoder er at det har vist seg vanskelig å finne materialer som egner seg til anoden. Det vil trolig være mulig å bygge om dagens verk til å skifte fra karbonanoder til inerte anoder dersom disse blir tilgjengelig (Alcoa, 2014). Det er usikkert hvordan bruk av inerte anoder i stedet for karbonanoder vil påvirke elektrisitetsforbruket.

Alcoa har i dag et testanlegg med karbotermisk produksjon basert på karbon. Prosessen er basert på standard råvarer som eksisterende Hall-Heroult prosess. I tillegg er det mulig å bruke råmaterialer med en vesentlig lavere kvalitet enn i dag. Teknologien gir støkiometrisk sett høyere utslipp av karbondioksid enn dagens produksjon ved elektrolyse, men det vil ikke være utslipp av PFK, og elektrisitetsforbruket vil være langt lavere. Røykgassen vil ha svært høy CO-konsentrasjon, og kan derfor være bedre egnet for CCS enn dagens elektrolyseprosess. CO-gassen kan også nyttiggjøres av annen industri, og fanges etter dette dersom karbonet ikke bindes i produkter. Produksjonsanleggene vil også være mer kompakte enn dagens elektrolyseanlegg, og vil være mer fleksible med hensyn til plassering og integrering med annen industri. Bruk av biomasse kan kanskje også være en mulighet i slike anlegg (Alcoa, 26.08.14). Det er også vist at bruk av metan som reduksjonsmiddel kan bli en mulighet. Avgassen vil da bestå av CO og H₂ (Halmann, Epstein, & Steinfeld, 2012).

Anoder basert på biomasse kan kanskje også bli mulig i framtiden. En utfordring med bruk av konvensjonelle typer biomasse er å oppnå høy nok tetthet i anodene (Klif, 2010b). Innblanding av noe biomasse har blitt forsøkt i Norge i et samarbeidsprosjekt mellom SINTEF, Elkem, Alcoa og Hydro. Prosjektet konkluderte med at selv en lav innblandingsgrad var vanskelig og ikke ga reduserte utslipp fordi det totale anodeforbruket økte (Hydro, 02.09.14).

CCS er krevende på dagens aluminiumsverk blant annet fordi konsentrasjonen av CO₂ i avgassen er svært lav (ca. 1 prosent). Nyere elektrolysecelledesign kan gjøre CCS lettere i framtiden. Hydro har gjort forsøk med å oppkonsentrere avgassen på en testcelle, men har konkludert med at det vil være svært krevende å få dette til. Det ser ut til å være mulig å oppkonsentrere avgassen til rundt 4 prosent CO₂, som er sammenlignbart med et gasskraftverk, men det er flere tekniske utfordringer knyttet til dette. Det er også uløste problemer knyttet til forurensninger i avgassen (Hydro, 02.09.14).

Ferrolegeringer

Norge er en stor produsent av ferrolegeringer. De norske verkene er kontrollert av Elkem, Wacker Chemicals, Fesil, Finnfjord, Glencore Manganese og Eramet. Utslippene fra bransjen globalt er små, men utslippene fra de norske verkene utgjør over 5 prosent av de nasjonale utslippene.

Ferrolegeringer produseres i dag karbotermisk. Noe forenklet vil det si at metalloksider blandes med reduksjonsmiddel som kull og/eller koks, og varmes opp til oksygenet i oksidene reagerer med karbonet i reduksjonsmiddelet og danner CO- og CO₂ gass. Utslipet fra denne reaksjonen dominerer utslippet fra bransjen, de resterende utslippene kommer i hovedsak fra forbruk av elektroder, bruk av kalkstein og dolomitt som slaggdannere og fossile brenslere til øsevarming og andre oppvarmingsformål. Prosessutslippene utgjør omtrent 97 prosent av de totale utslippene. Det er hensiktsmessig å dele anleggene i anlegg som produserer ferrosilium og silisium (FeSi/Si) og anlegg som produserer ferro- og silikomangan (Fe/SiMn).

Muligheter på kort og mellomlang sikt

Klimakur 2020 vurderte det som et mulig tiltak i denne bransjen å skifte store deler av fossilt kull med trekull, men det viste seg imidlertid at var en del utfordringer med dette tiltaket som ikke var godt nok belyst. FeSi/Si-verkene bruker allerede i dag noe trekull, mens Fe/SiMn-verkene ikke bruker trekull i dag.

Miljødirektoratet, ferrolegeringsindustrien og Enova gjennomførte et seminar i august 2014 med fokus på lavutslippsteknologier for bransjen, inkludert muligheter for bruk av trekull i denne industrien. Seminaret og etterfølgende kommunikasjon avklarte at det er muligheter for å øke andelen trekull noe i produksjon av ferrosilisium og silisium, men dette avhenger av spesifikke forhold for hvert enkelt verk og produktmiksen ved verket. En økt bruk av trekull vil også avhenge av tilgang til bærekraftig trekull av rett kvalitet. De største barrierene for økt bruk er i dag tilgang på trekull, kostnader, samt teknisk design i produksjonsprosessen på verkene. Bruk av trekull i Fe/SiMn vil kreve utvikling av egnet trekull, tilpasninger i prosessanleggene samt investeringer ved verkene og i forskning og utvikling.

På kort og mellomlang sikt vurderes det slik at det er mulig med en økning av trekull i FeSi/Si-produksjon og ingen bruk av trekull i Fe/SiMn-produksjon. I potensial for 2030 har vi lagt til grunn at det kan være mulig med inntil 20 prosent innblanding for enkelte kvaliteter i FeSi/Si-produksjonen. Dersom det viser seg at det er teknisk mulig med en høyere andel trekull ved norske verk, vil tilgangen på trekull være en begrensende faktor.

Enkelte verk, blant annet i Brasil, benytter en svært høy andel trekull. Hvorvidt dette er mulig ved norske verk må undersøkes nærmere og tilgang på egnet trekull vil være en avgjørende faktor i tillegg til at etterspørselen etter ulike ferrolegeringsprodukter kan gi tekniske begrensninger.

Muligheter på lang sikt

Gassen som resulterer fra reduksjonsprosessene i ferrolegeringsindustrien er som tidligere nevnt i stor grad CO-gass. I Fe/SiMn-verkene er ovnene lukket, og avgassen inneholder en høy andel CO-gass. Enkelte av verkene forbrenner denne gassen for å produsere energi, mens andre selger den som brenngass til nærliggende bedrifter. Muligheten for å ta i bruk CCS på Fe/SiMn-anleggene bør undersøkes nærmere.

FeSi/Si-ovner er derimot åpne eller bare delvis lukket, og CO-gassen oksideres inne i ovnen. Resultatet er at avgassen fra ovnene fortynnes, noe som gir en ganske lav konsentrasjon av CO₂, slik at anleggene vil være relativt vanskelig å utstyre med CCS. Det har blitt forsket en del på mulighetene for å lukke FeSi/Si-ovnene. Dette vil innebære å utvikle helt ny prosessteknologi, men vil kunne gjøre at CO-gassen kan benyttes til andre formål og gjøre det enklere å ta i bruk CCS på slike anlegg, men det gjenstår en del utfordringer (SINTEF; FFF, 20.08.14).

Tysklands 2050 studie forutsetter at metallproduksjon går over til å bruke metan fra fornybare kilder som reduksjonsmiddel innen 2050 (UBA, 2013). Naturgass kan brukes som reduksjonsmiddel i ferrolegeringsindustrien, dersom det utvikles helt ny prosessteknologi. Dette vil være tid- og ressurskrevende. For FeSi/Si vil ikke en overgang til metan fra fossile kilder kunne gi utslippsreduksjoner i seg selv, men avgassen vil kunne være bedre egnet for CCS eller nyttiggjøring i andre prosesser. For Fe/SiMn kan en overgang til metan fra fossile kilder i teorien redusere utslippene med opp til 75 prosent. Avgassen fra en slik prosess vil igjen kunne være velegnet for CCS eller videre nyttiggjøring (SINTEF; FFF, 20.08.14). I et lengre tidsperspektiv kan det være mulig å ta i bruk biogass til denne typen prosesser.

Kombinasjonen av CCS og trekull eller biogass vil i teorien kunne gi negative utslipp fra deler av denne bransjen, men vi har ikke sett nærmere på denne løsningen i vår analyse.

Titandioksidslag og jern

TiZir Titanium & Iron AS i Tyssedal i Odda kommune produserer titandioksidslag og jern. Utslippene stammer i all hovedsak fra forbruk av kull som reduksjonsmiddel (ca. 98 prosent), med mindre bidrag fra en del andre kildestrømmer som elektrodemasse og forbrenningsutslipp. Virksomheten er den eneste av sin type i Europa, men regnes i Norge ofte sammen med ferrolegeringsindustrien.

Selskapet ønsker å utvide fabrikken i Tyssedal. Alternativene for utvidelsen vil være å bygge ut fabrikken med kull som reduksjonsmiddel, eller å utvikle en ny prosess basert på lokalt produsert hydrogen som reduksjonsmiddel.

Bedriften har i dag et utslipp på ca. 300 000 tonn CO₂ per år, som vil bli redusert til 60 000 tonn CO₂ per år dersom hydrogenalternativet blir valgt. Siden bedriften samtidig vil øke produksjonen vil omleggingen redusere utslippene med 465 000 tonn CO₂ per år i forhold til utslippene virksomheten ville hatt hvis de hadde valgt kull som reduksjonsmiddel. Omleggingen vil medføre en økning i elforbruket på omtrent 0,5 TWh. Bedriften opplyser om at tiltaket kan være mulig å gjennomføre mellom 2020 og 2025 (Tizir, 27.05.14).

Virksomheten planlegger en videre utvidelse etter dette som vil doble produksjonskapasiteten fra det første trinnet. Dersom denne utvidelsen gjennomføres vil dette isolert sett øke de norske utslippene noe, men for anlegget som helhet representerer omlegging til hydrogen en total utslippsreduksjon på i størrelsesorden 900 000 tonn CO₂ per år i forhold til kullalternativet. Teknologien kan være overførbart til andre lignende prosesser, for eksempel produksjon av jern og stål, og kan få betydning for andre virksomheter utenfor Norge.

Nye løsninger i mineralsk industri

Sement

Det er i dag to anlegg som produserer sement i Norge, Norcem Brevik og Norcem Kjøpsvik. Utslippene stammer fra forbrenning av fossile brenslere og avfall, og fra selve kalsineringsprosessen (produksjon av klinker) hvor CO₂ frigjøres fra kalkstein (ca. 65 prosent). Utslippene fra sementproduksjon utgjør omtrent 5 prosent av de globale utslippene av CO₂, og i overkant av 2 prosent av Norges utslipp.

Muligheter på kort og mellomlang sikt

Det er mulig å substituere deler av de fossile brenslene som brukes med brenslere med høy andel biomasse, men det er begrensninger knyttet til denne andelen fordi sementovnene krever så høy temperatur (Klif, 2010b). Det er i hovedsak to typer begrensninger; kvaliteten på biobrenselet (brennverdi/fuktighet og partikkelstørrelse) og tilgangen på egnet biobrensel. Det er særlig viktig i forbindelse med mulighetene for å erstatte de fossile brenslene i hovedbrenneren (Norcem, 15.09.14). Bruken av biobrensel har økt siden Klimakur-analysen i 2010, og potensialet her er derfor redusert.

I Klimakur ble det også vurdert som et tiltak å redusere klinkerandelen i sement fra 85 til 80 prosent ved å bruke tilsetning av flyveaske eller andre alternativer. Klinkerandelen er redusert siden Klimakur, og en del av potensialet er dermed utløst. Det er viktig å påpeke at endringen av bindere i sement påvirker egenskapene til sementen, og at etterspørsel etter forskjellige sementtyper kan sette begrensninger. Vi har skjønnsmessig vurdert at omtrent halvparten av potensialet gjenstår.

Ut fra dagens kunnskap og teknologi, er CCS den eneste muligheten for å redusere CO₂-utslippene som stammer fra kalsineringen. Røykgassen fra produksjonen har høyt innhold av CO₂, som er gunstig for effektiv fangst. Forskjellige mulige teknologier testes ut på Norcem Brevik i et CLIMIT-finansiert program som varer til 2017. Basert på resultatene fra testingen av teknologiene, vil man vurdere mulighetene for å gå videre til å bygge et fullskala demonstrasjonsanlegg. Et viktig element i en slik vurdering vil være teknologienes energieffektivitet og tilgangen på energi til fangst. Et fullskalaprojekt vil også måtte vurdere løsninger for transport og lagring, som ikke er en del av prosjektet som pågår nå.

Med et høyt innslag av biobrensler og full rensing kan det være en mulighet for negative utslipp. Vi har ikke sett nærmere på denne muligheten.

Det kan påpekes at sementen vil binde opp CO₂ når den tas i bruk som betong. Engelsen og Justnes, 2014 har anslått at norske betongkonstruksjoner binder opp ca. 165 000 tonn CO₂ per år, og at ett tonn betong i løpet av et livsløp på 200 år binder opp ca. 110 kg CO₂.

Muligheter på lang sikt

Ved å øke oksygenmengden i ovnen kan det være mulig å ta i bruk brensel med lavere brennverdi enn de fossile brenslene som brukes i dag. Dette gjøres ved enkelte anlegg i USA. Ved å bruke rent oksygen kan CO₂-konsentrasjonen i avgassen økes til rundt 80 prosent og gjøre bruk av CCS langt lettere, men flere tekniske hindringer gjenstår (Hasanbeigi, Price, & Lin, 2012).

Tysklands 2050-studie forutsetter at klinker substitueres med opptil 50 prosent andre typer bindere (UBA, 2013). De resterende utslippene fra produksjon av sement (og kalk) er den viktigste årsaken til at UBA ikke kommer til nullutslipp i sin industrianalyse. Det eksisterer flere muligheter for å redusere klinkerandelen, som er i ulike stadier av utvikling og som kan brukes i ulikt omfang. En doktorgradsavhandling ved NTNU (De Weerd, 2011) viser at en bindemiddelsammensetning på 65 prosent ordinær portlandsement, 30 prosent flyveaske og 5 prosent kalkstein, er optimal for noen typer sement. Karlsruhe Institute of technology (KIT), har utviklet et produkt de kaller Celitement, basert på kalsiumhydrosilikater, som kan produseres ved lave temperaturer og brukes i samme andel som klinker i sement. Andre muligheter inkluderer geopolymere, slag fra noen typer metallproduksjon og resirkulerte materialer (Hasanbeigi, Price, & Lin, 2012).

Det er mulig å produsere sement fra magnesiumoksid i stedet for fra kalkstein. Dette kan gjøres ved lavere temperatur, som gjør prosessen mer fleksibel med hensyn til bruk av brensel (Klif, 2010b). Miljødirektoratet kjenner ikke til status for denne teknologien per i dag, eller hvilke begrensninger som vil ligge i hvordan slike sementer kan brukes.

Kalkverk

I Norge er det i dag tre kalkverk, NorFrakalk, SMA Mineral og Verdalskalk. De totale utslippene fra de tre verkene var i 2012 ca. 320 000 tonn CO₂. Utslippene fra kalkverkene stammer hovedsakelig fra avspaltet CO₂ fra råstoff (prosessutslipp). Ved produksjon av brent kalk og dolime er avspalting av CO₂ uunngåelig. Øvrige utslipp stammer fra forbrenning av energivarer som brukes for å gi varme til prosessen. Verdalskalk og NorFraKalk bruker hovedsakelig spillolje som energibærer, mens SMA Mineral hovedsakelig bruker CO-rik gass fra Glencore. Ved NorFrakalk, som er det største av de tre anleggene i Norge, kommer ca. 75 prosent av CO₂-utslippet fra avspaltet CO₂ fra karbonater og 25 prosent fra brenselet. CO₂-konsentrasjonen i avgassen er ca. 18 prosent. Tallene kan variere noe mellom anleggene avhengig av type brensel som benyttes, energieffektiviteten og produktmiks.

Dagens brensler kan antakelig erstattes med biobrensler (bioolje eller biogass) dersom dette har riktig kvalitet, eventuelt med hydrogen. Et slikt tiltak vil kreve en endring i anleggene, men teknologien finnes i dag. Siden SMA Mineral brenner CO-rik gass vil bytte av energibærer gi større utslipp hos Glencore dersom ikke andre kan utnytte CO-gassen i stedet. NorFrakalk og Verdalskalk brenner spillolje som uansett må håndteres.

Ut fra dagens kunnskap om teknologi vurderer vi at CCS er eneste måten å redusere prosessutslippene på og at det ikke er hensiktsmessig å bytte energibærer på ovnene for å redusere CO₂-utslippene på kort eller mellomlang sikt.

Nye løsninger for produksjon av mineralgjødning

Mineralgjødning produseres i dag av ammoniakk som framstilles ved haber-bosch-prosessen, som har hydrogen og nitrogen som råvarer. Hydrogenet kan lages på flere måter, men normalt vil det bli laget fra fossilt råstoff. Nitrogen hentes fra luft. Av ammoniakk produseres så salpetersyre, som kombineres med andre stoffer for å lage gjødning. Produksjonen av salpetersyre gir utslipp av lystgass (N₂O) som er en sterk klimagass. Eksisterende norske anlegg er Yara Glomfjord og Yara Porsgrunn. Yara Glomfjord har i dag utslipp fra produksjon av salpetersyre, mens Yara Porsgrunn har utslipp fra produksjon av ammoniakk og salpetersyre. Begge har også mindre utslipp knyttet til den videre gjødselproduksjonen. Mye CO₂ som dannes i forbindelse med ammoniakkproduksjonen fanges i dag. Fanget CO₂ blir i hovedsak solgt og brukes blant annet i næringsmiddelindustri. Utslipet føres i utslippsregnskapet under gjæring i brød og øl. Produksjon av ammoniakk er en viktig utslippskilde globalt, og det er også produksjon av salpetersyre.

Muligheter på kort og mellomlang sikt

Reduserte utslipp av lystgass fra salpetersyreproduksjon var inne i Klimakur som et såkalt 0-tiltak, dvs. at tiltaket allerede var gjennomført, men konsekvensene var ikke regnet inn i framskrivingene. Det er de imidlertid nå, og faller derfor bort fra denne analysen. Utslippene per produsert enhet har blitt redusert over flere år, men fra 2012 til 2013 flatet denne utviklingen ut. Videre forbedringer av katalysatorteknologien kan gi noen mindre reduksjoner på kort og mellomlang sikt.

Det er trolig et potensiale for å redusere forbrenningsutslippene fra ammoniakkproduksjonen gjennom effektiviseringstiltak. Vi har ikke utredet dette i denne omgang.

Det kan også ligge et potensiale i å skifte ut propan med etan eller naturgass (metan). En overgang til bruk av naturgass (metan) vil redusere utslippene fra ammoniakkproduksjonen med i størrelsesorden 20 prosent (Yara, 26.09.14), men avhenger av tilrettelagt infrastruktur for tilførsel av gassen.

Produksjon av ammoniakk regnes som en av de enklere prosessene å utstyre med CCS, siden CO₂ allerede fanges fra prosessen. Ved det norske ammoniakkanlegget fanges rundt 200 000 tonn CO₂, og i tillegg løses noe i vann. Det vil imidlertid være vanskeligere å fange CO₂ fra forbrenningen, og det er relativt lite tilgjengelig overskuddsvarme. Et eventuelt CCS-prosjekt på Yara Porsgrunn kan sees i sammenheng med en eventuell satsning på CCS på Norcem Brevik, på en slik måte at disse prosjektene kan dele lagring.

Muligheter på lang sikt

Det er som nevnt teknisk mulig å erstatte hydrogenkilden i ammoniakkproduksjon. Ved full produksjon vil anlegget ha behov for rundt 95 000 tonn hydrogen. Ammoniakk kan produseres ved å bruke hydrogen fra elektrolyse, og slik fjerne utslippene. Det vil i så fall kreve svært store mengder elektrisitet, mellom 4,3-7,6 TWh. Dette kan være et alternativ på lang sikt. Tysklands 2050-analyse

legger til grunn at ammoniakk produseres av metan fra fornybare kilder. Dette vil stille svært store krav til tilgangen til biomasse eller biogass. Dersom rent metan fra biogass skal brukes, vil det ved full produksjon være behov for omtrent 5 TWh.

På lang sikt er det mulig at forbedringer i katalysatorteknologi vil kunne videre redusere utslippene av lystgass fra salpetersyreproduksjon.

Nye løsninger i raffinerier

I Norge er det to råoljeraffinerier som til sammen slipper ut ca. 2,1 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, som er ca. 3,9 prosent av det samlede norske utslippet, og hvor 2,0 millioner tonn er CO₂. Omtrent halvparten er forbrenningsutslipp og resten er utslipp fra raffineriprosesser der cracking er den desidert største kliden.

I raffineringprosessen blir råolje separert i ulike fraksjoner, herunder bensin, diesel og tunge oljefraksjoner. Nye produkter og fraksjoner kan lages ved å la enkelte av fraksjonene undergå cracking og reformering. Under raffineringprosessen dannes det fyrgass som ikke kan inngå i noen av produkt-fraksjonene, men som forbrennes i anleggene og gir termisk energi. Fyrgass består i stor grad av hydrokarboner, og brukes som energikilde i raffineriene på Mongstad og Slagentangen. Det er denne forbrenningen som utgjør raffinerienes forbrenningsutslipp.

Raffinerier er prosessanlegg der struktur og dimensjonering er optimalisert i forhold til råoljen som tas inn og produktene som skal produseres. Det er vanskelig å forhindre at det dannes fyrgasser i raffineriprosessen. Mengden kan imidlertid variere, men omfattende endringer i prosessen og i anlegget, samt bruk av ny teknologi vil være nødvendig for å redusere produksjonen av fyrgasser i vesentlig grad.

Teoretisk kan fyrgassene som brukes som brensel i raffinerienes ovner og kjeler erstattes med fornybare brensler eller elektrisitet. Men fyrgassene vil bli dannet i prosessen uansett, og de må tas hånd om hvis slik konvertering skal medføre reduserte utslipp av klimagasser. Fyrgassene har fossilt opphav, og uansett hvor de forbrennes vil forbrenning medføre CO₂-utslipp, med mindre CO₂ fanges fra forbrenningskilden. Forbrenning av fyrgassene utenfor raffineriene, og fyring med elektrisk kraft, kan imidlertid medføre et betydelig energitap. Det mest energieffektive er derfor direkte fyring med de interne fyrgassene.

Raffineriene er bygget for prosessering av råolje med fossilt opphav, og de er plassert i nærheten av innskipningsanlegg for slik råolje. På Mongstad er det også etablert en egen råoljeterminal for lagring og omlasting av råolje. Bruk av alternativt råstoff, med biologisk opphav har antagelig liten hensikt. Hvis tilsvarende produkter skal lages med alternative råvarer må anleggene bygges om vesentlig, og nåværende plassering behøver ikke lenger være gunstig.

På Mongstad er det bygget et gasskraftverk der noe av fyrgassen fra raffineriet forbrennes. Noe av bakgrunnen for å bygge gasskraftverket var å forbrenne overskuddet av fyrgass fra raffineriet på en effektiv måte, og å levere kraft og varme tilbake til raffineriet. Ved å forbrenne overskuddet ble det mulig å øke raffineriets energieffektivitet uten å måtte brenne av mer gass i fakkelen, som ellers ville medført utslipp av CO₂. Mongstad har de siste årene hatt en betydelig forbedring av energieffektiviteten, og bedriften antar at ytterligere forbedringer også kan oppnås de nærmeste årene. Det foreligger også konkrete planer for etablering av fullskala CO₂-fangst på gasskraftverket (StatoilHydro, 2008), slik at noen av fyrgassene kunne forbrennes uten CO₂-utslipp, men dette prosjektet er skrinlagt.

En plan for etablering av CO₂-fangst på crackeren i raffineriet på Mongstad ble i 2008 presentert i dokumentet *CO₂ Masterplan Mongstad* (StatoilHydro, 2008), men dette prosjektet er også skrinlagt. Vi kjenner imidlertid ikke til andre måter å fjerne disse CO₂-utslippene på.

Muligheter på kort og mellomlang sikt

En del effektiviseringstiltak kan gjennomføres i raffineriene. Det betyr at mengden energi som går med til å produsere en enhet produkt går ned. Dette vil imidlertid ha liten betydning for CO₂-utslippene fordi fyrgassproduksjonen er proporsjonal med gjennomstrømmingen i anleggene, og fyrgassene må forbrennes i eller utenfor raffineriene. På Mongstad kan energieffektivisering medføre at noe mer av CO₂-utslippet overføres til kraftverket, men vi legger til grunn at fangst og lagring av CO₂ etableres på kraftverket før 2030 (jf. kap. 4.6 Energiforsyning).

Aktuelle tiltak på raffinerier kan være økt varmeintegrasjon og varmegjenvinning, ytterligere effektivisering av ovner og kjeler, samt elektrifisering av dampdrevne turbiner. Et samlet reduksjonspotensial for denne type tiltak antas å være noe under 0,2 millioner tonn CO₂.

Vi antar videre at CO₂-fangst og lagring kan fjerne 85 prosent av CO₂-utslippet fra crackeren på Mongstad. Kostnaden er høy, men prosjektet antas å være teknisk gjennomførbart. Tiltaket vil gi en reduksjon på 0,85 millioner tonn CO₂.

Muligheter lang sikt

På lengre sikt er fangst og lagring av CO₂ også den mest aktuelle løsningen for raffinerienes forbrenningsutslipp. Vi antar derfor videre at CO₂-fangst og lagring kan fjerne det meste av forbrenningsutslippet fra norske raffinerier. Vi vet i dag ikke hvilken CO₂-fangst-teknologi som vil bli benyttet i 2050. Det er heller ikke sikkert at alle kildene i raffineriene er egnet for CO₂-fangst eller rent fysisk lar seg knytte opp mot et fangstanlegg.

Alternativene til CO₂-fangst er omfattende ombygginger av raffineriene og bruk av ny teknologi, slik at produksjonen av fyrgasser fjernes eller reduseres vesentlig.

Nye løsninger i petrokjemisk industri

Petrokjemisk industri består av fire bedrifter, og det samlede utslippet fra disse er ca. 1 million tonn CO₂-ekvivalenter, som er ca. 2,2 prosent av det samlede norske utslippet. Det meste av dette utslippet er CO₂ fra forbrenning.

De petrokjemiske anleggene på Rafnes, Herøya og Tjeldbergodden lager produkter av våtgass og naturgass fra fossile kilder. Produktene er blant annet etylen, vinylklorid (monomer og polymer) og metanol. I anleggene dannes det også energirike gasser som brukes til innfyring av prosessanleggene. Disse gassene kalles ofte brenngasser. Anleggene på Rafnes og Herøya fyres utelukkende med brenngasser som dannes i prosessanlegget under produksjon av etylen. Rent teknisk kan brenngassene som brukes som brensel erstattes med fornybare brenslers eller elektrisk kraft. Men brenngassene som dannes i prosessen må tas hånd om hvis slik konvertering skal medføre en klimagevinst. Brenngassene har fossilt opphav, og uansett hvor de forbrennes vil forbrenning medføre CO₂-utslipp, med mindre CO₂ fanges fra forbrenningskilden. Direkte innfyring av anleggene med interne brenngasser er antagelig mer energieffektivt enn bruk av elektrisk kraft som termisk energikilde.

I metanolfabrikken på Tjeldbergodden kommer ca. 70 prosent av CO₂-utslippet fra forbrenning av naturgass til innfyring av reformer og dampkjel. Den gassfyrte dampkjelen kan erstattes av en elektrisk kjel, og i så fall gi noe reduserte utslipp. Teoretisk sett kan reformeren fyres med biogass,

men dette vil kreve at relativt store mengder biogass skaffes til veie. Frakt av de nødvendige mengdene fram til anlegget vil også bli en krevende logistikk.

De petrokjemiske anleggene er plassert i nærheten av innskipningsanlegg for gass, og Tjeldbergodden er plassert i enden av Haltenpipe, som er gassrørledningen fra Haltenbanken. Rafnes har kaianlegg for innskipning av våtgass. Alle anleggene har med andre ord prosesser og plassering som er basert på leveranser av fossil gass.

Mange av produktene fra den kjemiske industrien kan i prinsippet lages av fornybare ressurser som for eksempel biogass, men konvertering vil stille svært store krav til tilgangen på slik biomasse.

Muligheter på kort og mellomlang sikt

En del energieffektiviseringstiltak kan gjennomføres i petrokjemisk industri, men dette vil ha liten innvirkning på CO₂-utslippene fra disse bedriftene, fordi mengden brenngass som dannes er proporsjonal med hvor mye fossil gass som tas inn i anleggene som råvarer. På Tjeldbergodden, hvor store deler av prosessen fyres med naturgass, vil energieffektivisering imidlertid kunne redusere utslippene noe.

Muligheter lang sikt

På lengre sikt er fangst og lagring av CO₂ fra forbrenning den mest aktuelle løsningen for å redusere CO₂-utslippene fra petrokjemisk industri. Alternativene er omfattende ombygging av bedriftene, slik at produksjonen av brenngasser elimineres eller reduseres vesentlig, eller at anleggene fyres med fornybare brenslers og forbrenningen av brenngassene skjer i anlegg der CO₂ fanges etter forbrenningen.

Vi antar her at CO₂-fangst og lagring kan fjerne det meste av restutslippet fra petrokjemisk industri. Vi vet i dag ikke hvilken CO₂-fangst-teknologi som vil bli benyttet i 2050. Det er heller ikke sikkert at alle kildene i anleggene er egnet for CO₂-fangst eller rent fysisk lar seg knytte opp mot et fangstanlegg.

Næringsklynger og prosessintegrasjon

Det er ikke bare teknologiutvikling som vil kunne gi utslippsreduksjoner, men også strukturelle endringer knyttet til lokalisering og integrering av prosesser. Bedrifter som er lokalisert nær hverandre kan ha fordeler av å utveksle bi-produkter, overskuddsvarme og å dele infrastruktur. Avgasser fra noen typer industri kan nyttiggjøres av andre typer industri, mens enkelte typer avfallsfraksjoner kan være andre bedrifters råstoff. En klynge av industri kan ha en felles infrastruktur for fangst, transport og lagring av CO₂.

Det finnes flere slike eksempler i dag: CO-rik gass fra Glencore Manganese brukes som brenngass hos nærliggende bedrifter i Mo i Rana, spillvarme fra industri brukes flere steder i Norge til oppvarmingsformål lokalt ved bedriften. I USA finnes det nettverk som samler CO₂ fra forskjellige kilder til økt oljeutvinning (Global CCS institute, 2014).

Økt grad av prosessintegrasjon kan i framtiden bidra til å redusere utslippene fra industrien, men vi har ikke forsøkt å kvantifisere noe potensial for dette.

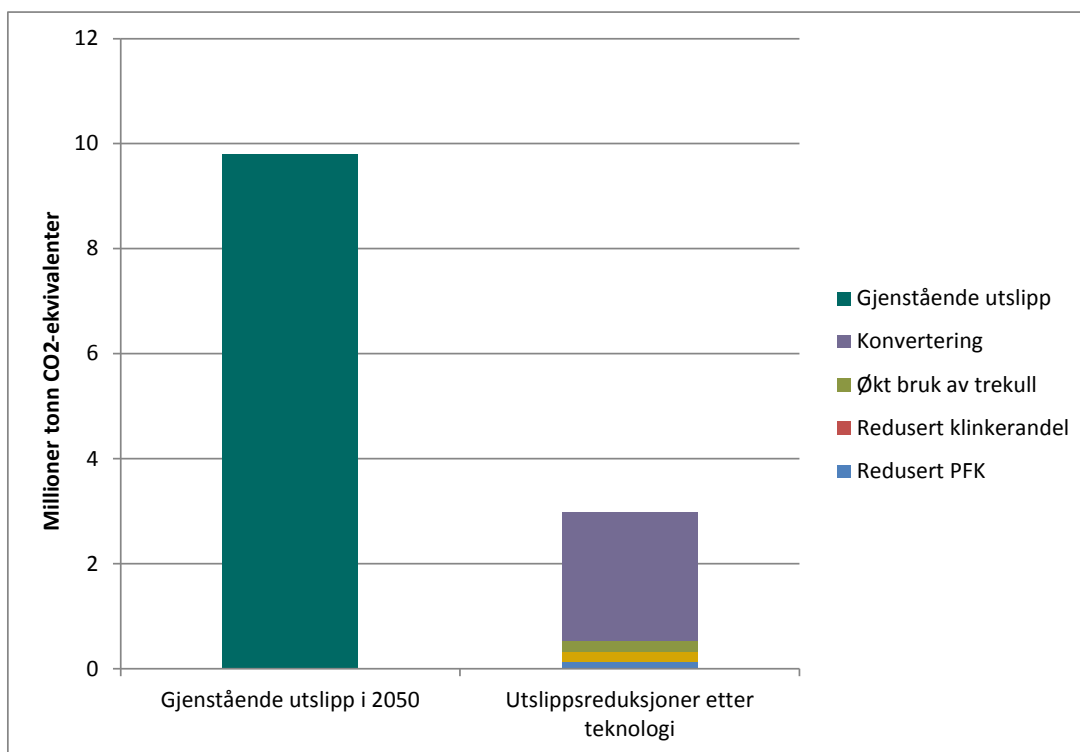
4.2.3.3 Lavutslippsscenarioer basert på ulike utviklingstrekk

Det er vanskelig å gjennomføre kraftige utslippskutt i industrien med dagens teknologi og næringsstruktur. Tilgang på ny prosesseteknologi vil kunne endre dette, og det vil også tilgangen på CCS. En stabil tilgang på råstoff av riktig kvalitet fra biomasse vil også kunne gi vesentlige utslippskutt.

Vi har utviklet fire scenarioer som illustrasjon på hvordan utslippene fra industrisektoren kan se ut i 2050, gitt ulike forutsetninger. For tre av scenarioene antar vi at den norske industrien produserer omtrent det samme som i dag, men forutsetter at produksjonen ikke nødvendigvis foregår på de samme anleggene på de samme stedene som i dag. Vi har også laget et scenario med en noe endret næringsstruktur, hvor oljeraffineriene er lagt ned i 2050.

Scenario 1: Lav teknologiutvikling og ikke CCS

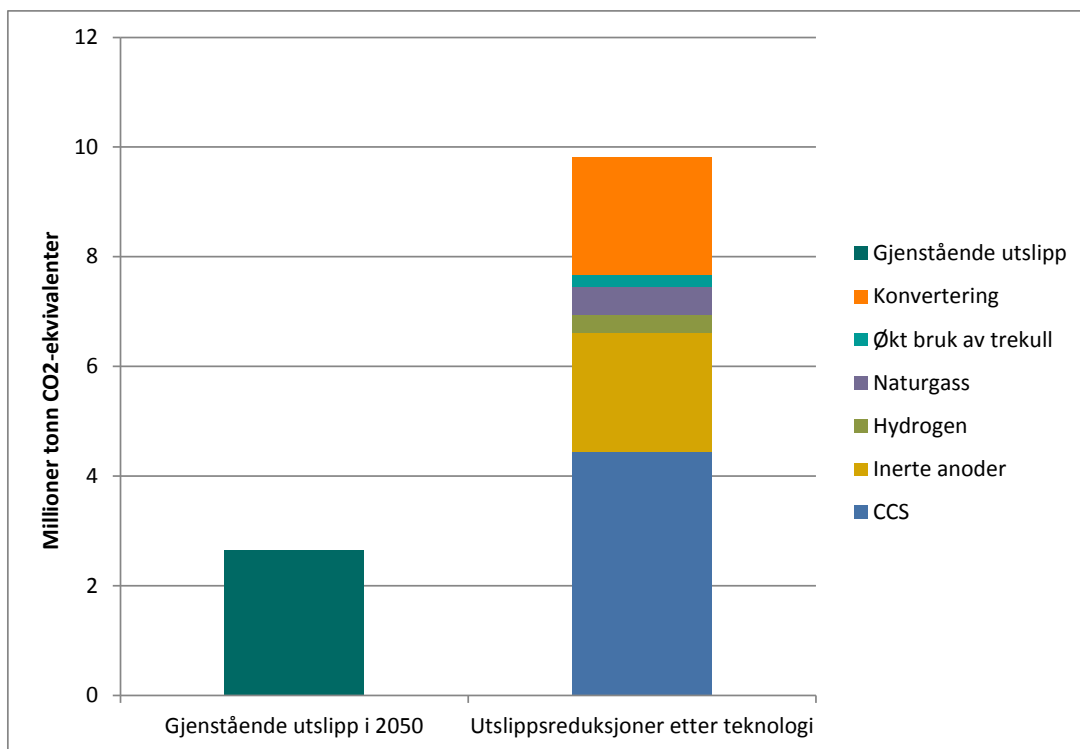
Dersom vi antar at CCS ikke tas i bruk, og at det ikke utvikles ny prosessteknologi, viser Figur 4-9 at de resterende utslippene i 2050 vil være omtrent 10 millioner tonn. Det viktigste tiltaket vi antar her er en vesentlig konvertering av fossile brensler til fornybar energi, at aluminiumsindustrien klarer å redusere utslippene av PFK, at ferrosilisiumbransjen kan øke bruken av biokull, og at klinkerandelen i sement reduseres en god del.



Figur 4-9 Scenario 1: Lav teknologiutvikling og ikke CCS.

Scenario 2: Høy teknologiutvikling og CCS på restutslippene

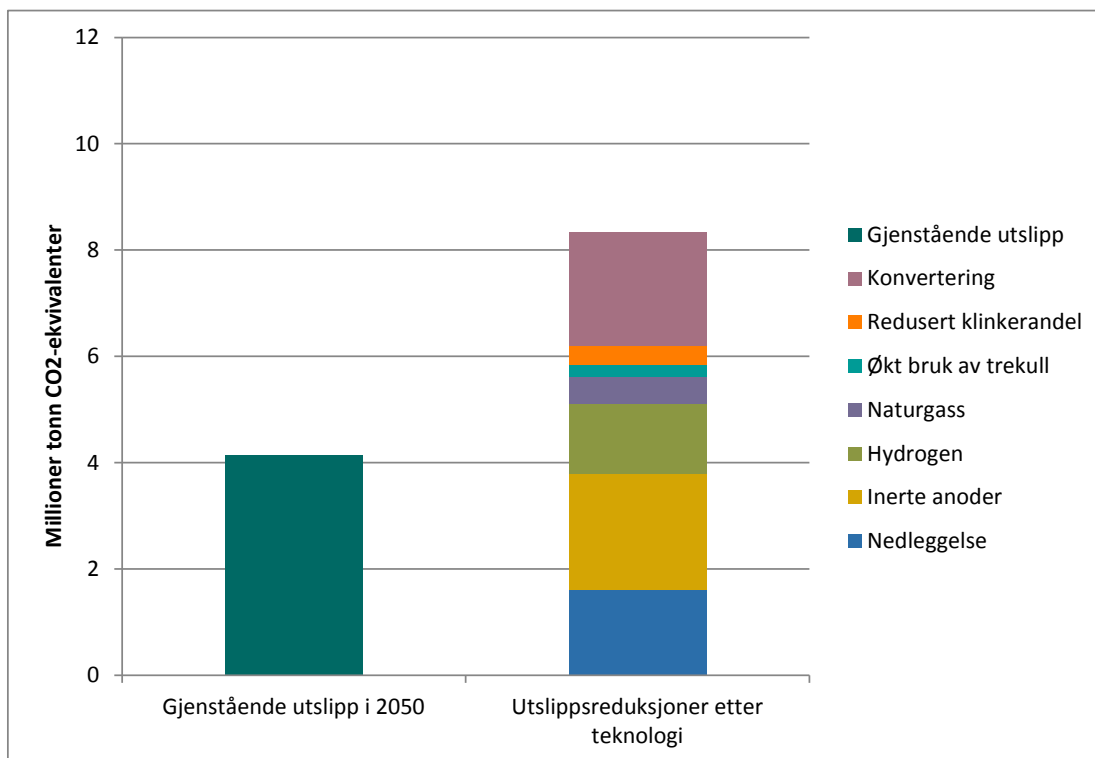
Dersom vi forutsetter inerte anoder til aluminiumsindustrien, naturgass som reduksjonsmiddel i produksjon av manganlegeringer, hydrogen som reduksjonsmiddel i produksjon av titandioksidslag, økt bruk av trekull i ferrosilisiumindustrien, fullstendig konvertering av fossile brensler til fornybar energi i all industri uten CCS og CCS på sement- og kalkovner, i petrokjemisk industri, i ammoniakkproduksjon og i raffinerier, viser Figur 4-10 at de gjenstående utslippene i 2050 kan være i underkant av 3 millioner tonn. De resterende utslippene stammer fra at vi antar at CCS ikke vil kunne rense mer enn 90 prosent av utslippene der det tas i bruk, at det fortsatt vil være noen utslipp igjen fra produksjon av ferrolegeringer og prosessutslipp fra bransjer hvor vi ikke har identifisert tiltak.



Figur 4-10 Scenario 2: Høy teknologiutvikling og CCS på restutslippene.

Scenario 3: Høy teknologiutvikling, ingen CCS, og (noe) endret næringsstruktur

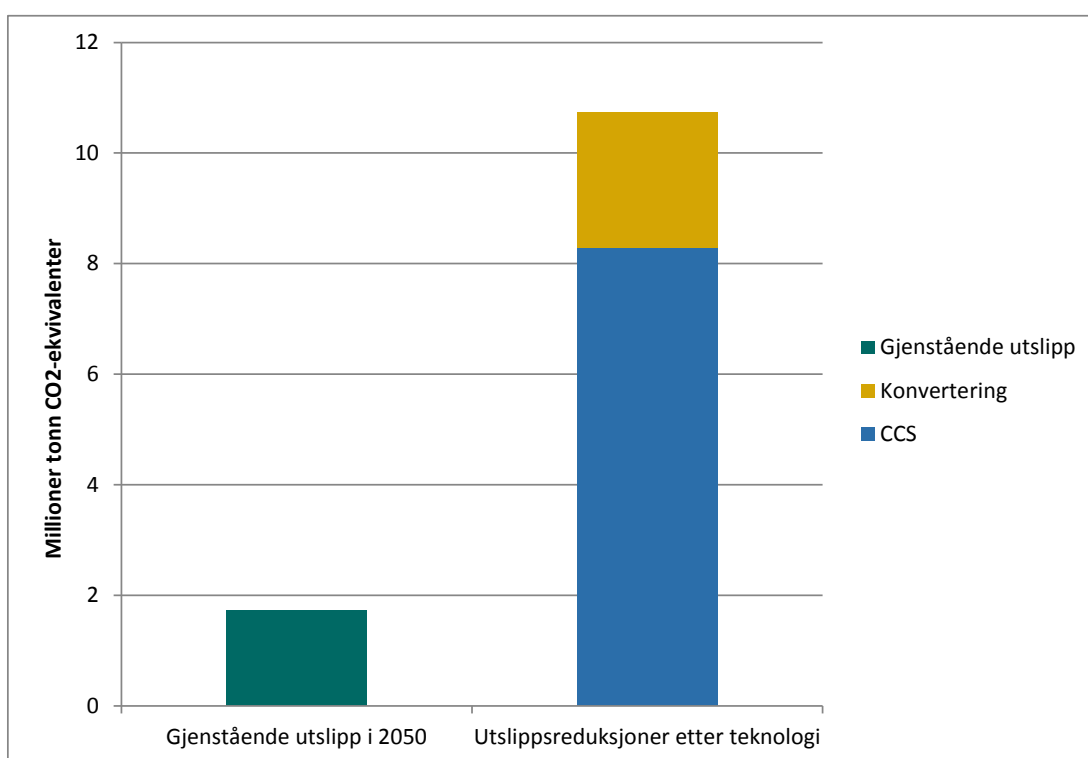
I dette scenarioet forutsettes det samme som "høy teknologiutvikling og CCS på restutslippene", men uten CCS. I tillegg forutsettes det at ammoniakkproduksjonen skifter til hydrogen fra fornybare kilder, en drastisk reduksjon i klinkerandelen i sement og at oljeraffineriene legges ned. Figur 4-11 illustrerer at restutslippene da blir omtrent 4 millioner tonn.



Figur 4-11 Scenario 3: Høy teknologiutvikling ingen CCS og noe endret næringsstruktur.

Scenario 4: Utbredt bruk av CCS

Ved å bygge ut CCS i stor skala for alle vesentlige punktutslipp i Norge kan utslippene fra industrisektoren reduseres betraktelig. Dette kan bli mulig ved at industrien i mye større grad enn i dag lokaliseres slik at felles systemer for CCS kan senke kostnadene og at prosessene optimaliseres for CCS. Anlegg kan også samles til større enheter på områder hvor de lokale barrierene for CCS er små, og lagring tilgjengelig. Samtidig kan teknologiutvikling i industrien gjøre at CCS blir billigere enn den framstår i dag i noen industrier: Aluminiumsindustrien kan utvikle elektrolyseceller hvor avgassen lettere lar seg rense, eller gå over til karbotermisk produksjon. Overgang til prosesser som bruker naturgass som reduksjonsmiddel i metallproduksjon vil i seg selv redusere utslippene, men vil også gjøre CCS enklere. Også her antar vi fullstendig konvertering fra fossile brenslere til fornybar energi i all industri uten CCS. Figur 4-12 illustrerer at restutslippene vil være i underkant av 2 millioner tonn i dette scenarioet, fordi vi antar at CCS kun kan ta omtrent 90 prosent av utslippene. Det vil også gjenstå noen prosessutslipp fra bransjer hvor vi ikke har identifisert tiltak.



Figur 4-12 Scenario 4: Utbredt bruk av CCS.

Som scenarioene illustrerer, så vil antagelig CCS på industriutslipp måtte spille en rolle i å redusere utslipp ned til de nivåer som er nødvendig, men ikke nødvendigvis i det omfang som er vist i disse scenarioene. Vi har også lagt til grunn at CCS kan redusere utslippene med 90 prosent der det tas i bruk, og det vil i så fall kreve forbedringer i fangstteknologiene vi kjenner i dag. Scenarioene representerer løsninger vi ser kan være mulige per i dag, og omfatter ikke alle de løsningene som faktisk vil finnes i 2050 og senere. Dette bygger opp under behovet for å fortsette utviklingen knyttet til både CCS og andre typer teknologier.

Restutslippene fra industrien i 2050 vil avhenge også av graden av nyetableringer og utvidelser utover dagens nivå. I et globalt perspektiv kan det likevel være en god løsning om nye virksomheter bidrar til teknologiutvikling som også gir mindre utslipp i tilsvarende virksomheter i andre land og/eller tar markedsandeler fra mer forurensende virksomheter i andre land.

Som illustrasjon på hvordan aktivitetsvekst i form av økt produksjon vil påvirke utslippene i 2050, vil en 2 prosent årlig vekst flatt fordelt over bransjene, uten reduserte spesifikke utslipp, medføre at utslippstallene nedenfor må ganges med 2. I framskrivingene til 2030 er det antatt en aktivitetsvekst på 2 prosent per år, men at dette ikke medfører tilsvarende økte utslipp på grunn av effektivisering. Flere av bransjene vi har vært i kontakt med ser for seg en global vekst i etterspørselen etter sine produkter på 4-7 prosent på kort sikt. IPCC, 2014 viser til at den gjennomsnittlige årlige produksjonsveksten i verden mellom 2005 og 2012 har vært 6 prosent for sement, 2 prosent for ammoniakk, 5 prosent for aluminium og 4 prosent for stål (som driver etterspørselen etter ferrolegeringer).

En konkret mulig ny industrietablering er Ironman-prosjektet som planlegges på Tjeldbergodden. Dette kan øke utslippene med 800 000 tonn CO₂ per år dersom det bygges uten CCS. Et annet eksempel er Hydros planlagte utvidelse av Hydro Karmøy, som vil øke utslippene fra dette anlegget med rundt 500 000 tonn CO₂-ekvivalenter per år. Begge disse prosjektene vil redusere karbonintensiteten i sine bransjer globalt, men utslippene nasjonalt vil øke. Dersom TiZir Titanium & Iron utvider med kull som reduksjonsmiddel, og ikke hydrogen, kan det øke utslippene med ca. 700 000 tonn CO₂ per år.

4.2.4 Tiltaksanalyse mot 2030

4.2.4.1 Mulige tiltakspakker for sektoren

Tabell 4-3 peker på en rekke tiltak som vi vurderer å ha teknologisk mulighet til å gjennomføre innen 2030, Tabellen peker på kostnadsklasser og også på en beskrivelse av tiltakene. Vi har valgt ikke å differensiere mellom 2025 og 2030 da det er vanskelig å være for tydelige på hvilke av disse tiltakene som skal gjennomføres før 2025 og hvilke etter 2025.

Tabell 4-3 Mulige tiltak innen 2030.

Tiltak	Gjennomførbarhet		
Kostnad	Forholdsvis enkelt	Middels krevende	Krevende
Lav < 500 kr/tonn	1. Energieffektivisering og konvertering fra fossile energibærere i annen industri og bergverk (inkl. næringsmiddel), treforedling, metallindustri (0,57 mill. tonn CO ₂ -ekv.) 2. Redusert PFK i aluminium (0,14 mill. tonn CO ₂ -ekv.)	3. Trekull i ferrosilumindustri (0,15 mill. tonn CO ₂ -ekv.) 4. TiZir - overgang til hydrogen (0,24 mill. tonn CO ₂ -ekv.)	
Medium 500–1500 kr/tonn	5. Energieffektivisering og konvertering fra fossile energibærere i annen industri og bergverk (inkl. næringsmiddel), treforedling, metallindustri (0,1 mill. tonn CO ₂ -ekv.) 6. Klinkersubstitusjon i sement (0,04 mill. tonn CO ₂ -ekv.) 7. Økt bruk av biomasse i sementproduksjon (0,06 mill. tonn CO ₂ -ekv.)	8. Økt varmegjenvinning i raffinerier, samt effektivisering av ovner og kjeler, og elektrifisering av turbiner, del 1. (0,15 mill. tonn CO ₂ -ekv.)	11. CCS Norcem Brevik (0,8 mill. tonn CO ₂ -ekv.)
Høy >1500 kr/tonn		9. Energieffektivisering og konvertering fra fossile energibærere i annen industri og bergverk (inkl. næringsmiddel), treforedling, metallindustri (0,25 mill. tonn CO ₂ -ekv.) 10. Økt varmegjenvinning i raffinerier, samt effektivisering av ovner og kjeler, og elektrifisering av turbiner, del 2. (0,05 mill. tonn CO ₂ -ekv.)	12. CCS Yara Porsgrunn (0,47 mill. tonn CO ₂ -ekv.) 13. CCS Mongstad Krakker (0,85 mill. tonn CO ₂ -ekv.)

Forutsetninger:

1, 5 og 9. Energieffektivisering og konvertering fra fossile energibærere i annen industri og bergverk (inkl. næringsmiddel), treforedling, metallindustri. Diverse energieffektiviserings- og konverteringstiltak. Aggregert etter kostnad.

2. Redusert PFK i aluminium: Aluminiumbransjen jobber videre med å redusere PFK, alle anlegg når spesifikke utslipp tilsvarende det beste anlegget.

3. Trekull i ferrosilumindustri: Bruken av trekull øker til 20 prosent i deler av ferrolegeringsindustrien, kostnaden forutsetter et norsk produksjonsanlegg. Kostnaden er basert på et større produksjonsanlegg enn det som trengs for å dekke potensialet her, men vi har ikke kunnet justere kostnaden i denne omgang.

4. TiZir - overgang til hydrogen: Kostnad og potensial beregnet på bakgrunn av informasjon om det pågående prosjektet fra virksomheten.

6. Halve potensialet beregnet i Klimakur, kostnaden er den samme som beregnet i Klimakur.

7. En tredjedel av potensialet beregnet i Klimakur, kostnaden satt lik trinn 2 økning.

8 og 10. Økt varmegjenvinning i raffinier, samt effektivisering av ovner og kjeler, og elektrifisering av turbiner, del 1 og 2. Tiltakene er en oppsummering av en generell vurdering av muligheter for å bedre effektiviteten i og redusere utslipp fra raffinier.

11. Tiltaket CCS Norcem Brevik er hentet fra Klimakur 2020. Det er de samme kostnadene som er lagt til grunn her, men kostnadene er justert fra 2008-kroner til 2014-kroner. Det er imidlertid stor usikkerhet rundt et "pilot"-tiltak, slik som forklart i CCS-delen av dette kapittelet.

12. Tiltaket CCS Yara er hentet fra Klimakur 2020. Det er de samme kostnadene som er lagt til grunn her, men kostnadene er justert fra 2008-kroner til 2014-kroner. Tiltakskostnaden blir da litt mer enn 1500 kr/tonn CO₂. Det er imidlertid stor usikkerhet, og kostnadene kan også bli høyere eller lavere enn dette.

13. Tiltaket CCS på Mongstad Krakker er hentet fra Klimakur 2020. Det er de samme kostnadene som er lagt til grunn her, men kostnadene er justert fra 2008-kroner til 2014-kroner. Tiltakskostnaden blir litt under 1500 kr/tonn CO₂. Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til kostnadsberegningene, og på grunn av dette er tiltaket likevel satt i kostnadsgruppe "høy".

Vi har satt tiltakene inn i ulike tiltakspakker, for å illustrere noen mulige utslippsreduksjonspotensial gitt ulike nivåer på kostnadsnivåer og vurdering av gjennomførbarhet.

Tiltakspakke Nivå 1:

Dersom tiltak som koster under 500 kroner per tonn og er enkle å gjennomføre gjennomføres, vil dette innebære at fossile brenslers konverteres til fornybar energi der det er lett, og at videre prosessforbedringer i aluminium reduserer utslippene av PFK fra denne bransjen. Tiltakene kan gjennomføres før 2020, men vil virke også i 2025 og 2030. Potensialet for tiltakspakken er 0,7 millioner tonn.

Tiltakspakke Nivå 2:

Dersom man øker ambisjonsnivået til også å omfatte tiltak som er opp til middels vanskelig å gjennomføre og har opp til middels kostnad, øker potensialet til 1,5 millioner tonn. Mange av disse tiltakene vil også være mulig å gjennomføre før 2020. Dette ambisjonsnivået vil innebære at en svært stor andel av fossile brenslers til stasjonær forbrenning opphører i bransjer hvor denne konverteringen kan skje med kjent teknologi, og uten at utslippene øker et annet sted. Det vil fortsatt være et potensial igjen for reduksjoner av denne typen utslipp, som vi ikke har kunnet vurdere i denne fasen. Det er her også lagt inn konvertering og effektiviseringstiltak i raffinier, og det er inkludert to tiltak innen sementproduksjon som går ut på en videre reduksjon i klinkerandelen i sement, og økt bruk av biomasse til forbrenning.

Det er lagt inn to tiltak som går på overgang fra fossile til fornybare reduksjonsmidler i metallindustrien. Bruk av trekull i ferrolegeringsindustrien utgjorde ganske mye av det identifiserte utslippsreduksjonspotensialet i industrisektoren i Klimakur. Etter dialog med bransjen har dette tiltaket blitt justert ned, og videre utredninger vil vise hvor stort dette potensialet er. TiZir Titanium & Iron har kommet ganske langt i sitt prosjekt med å erstatte kull med hydrogen, og skal etter planen bygge et pilotanlegg i 2015, med en full omlegging i perioden 2020-2025. De kostnadsestimatene Miljødirektoratet har tilgjengelig indikerer at både økt bruk av trekull og overgang til hydrogen på TiZir kan være relativt rimelige tiltak.

Tiltakspakke Nivå 3:

Under "høyt ambisjonsnivå" har vi lagt inn tre mulige CCS-prosjekter før 2030, men tiltakene kan gjennomføres tidligere. De tre anleggene er naturligvis ikke en full oversikt over hvilke muligheter som kan finnes for bruk av CCS. Det er ikke gitt at disse anleggene vil være de beste prosjektene heller. Det er store usikkerheter knyttet til gjennomførbarhet, kostnader og potensialer for de tre

prosjektene, og det må grundige utredninger til for å kunne si noe mer sikkert. Det er ikke sikkert at den beste løsningen vil være full rensing, men at kostnadene kan reduseres ved å ikke inkludere alle utslippspunkter eller ved å tilpasse fangstanlegget til tilgangen på varme og kjøling etc. Slike vurderinger hører hjemme i en grundigere gjennomgang, og er derfor ikke vist i vår tabell. Alle de tre prosjektene er i bransjer med svært stort globalt fotavtrykk, og det er viktig at fangst- og lagringsteknologi demonstreres for slike anlegg.

I denne kategorien har vi også lagt inn de dyreste og vanskeligste forbrenningsutslippene. Tiltakene som er utredet her er i hovedsak overgang til biogass i metallindustrien, og videre konvertering og effektivisering i raffinerier. Det vil i så fall kreve mye biogass. Potensialet for disse er ca. 250 000 tonn. Dersom alle disse prosjektene gjennomføres øker potensialet til 3,9 millioner tonn.

Med unntak av prosjektet til TiZir har vi ikke inkludert noen ny prosessteknologi før 2030, gitt usikkerhetene knyttet til slik teknologiutvikling. Det kan imidlertid ikke utelukkes at flere slike prosjekter vil finne sted i perioden.

4.2.4.2 Energikonsekvenser

En omlegging som beskrevet her vil ha en del konsekvenser for energisystemet. Tiltakene som går på konvertering og energieffektivisering vil føre til en redusert etterspørsel etter fyringsolje og andre fossile brensler, og en økt etterspørsel etter biobaserte energibærere. Totalt vil imidlertid etterspørselen etter elektrisitet bli redusert dersom alle effektiviseringstiltakene gjennomføres.

Hvilken løsning som velges for varmeproduksjon i CCS-prosjektene vil kunne spille en rolle. I Klimakur var det tatt utgangspunkt i at varmebehovet skulle dekkes med naturgass. Dersom dette gjennomføres vil det føre til en økning i etterspørselen etter naturgass.

4.2.4.3 Virkemidler

De aller fleste utslippsskilder med tilhørende tiltak som er omtalt i dette kapittelet omfattes av kvotesystemet (EU-ETS). Som beskrevet i kapittel 4.1 så forventes det høyere kvotepriser fram mot 2030, og en slik forventning er antagelig også innbakt i industriens strategier for å redusere utslippene på lengre sikt, slik vi viste til i innledningen av industrikapittelet.

Fortsatt satsing på forskning og utvikling er helt sentralt for å kunne produsere de varene vi trenger så effektivt som er nødvendig, og også for å utvikle nye produkter og løsninger. Vi har i denne rapporten pekt på en rekke sentrale prosesser og industrier hvor dette er nødvendig. Forskningsrådet og Innovasjon Norge forvalter altså en viktig del dette virkemiddelapparatet.

Enova er et annet eksisterende virkemiddel for å støtte industriens overgang til fornybar energi og utvikling av nye teknologiske løsninger som har kostnader utover eksisterende kvotepris. Effekten av Enovas tilskuddsmidler innen teknologiutvikling vil først vise seg om noen år. Men i deres prosjektportefølje per i dag er det en rekke prosjekter som vil kunne bidra til å redusere energiforbruk og klimagassutslipp fra viktige norske industribedrifter, og som også kan bidra til globale utslippsreduksjoner gjennom teknologispredning. I dag finansierer Enova opp mot 50 prosent av prosjektkostnadene, og har også mandat til å finansiere fullskala testanlegg.

Gassnova skal bidra til å fremskaffe løsninger som gjør at teknologi for fangst og lagring av CO₂ tas i bruk og blir et effektivt klimatiltak. Gassnova gir økonomiske støtte til utvikling, demonstrasjon og pilotering av CO₂-håndteringsteknologier gjennom forskningsprogrammet CLIMIT og forvalter statens interesser i CO₂-teknologisenteret på Mongstad.

Selv om vår gjennomgang viser til industrier og utslippskilder som ligger godt an til å installere karbonfangst, så gjenstår det en rekke tekniske problemstillinger. Lagring av CO₂ er eksempelvis ett område hvor vi ikke kan forvente at den enkelte industribedrift vil kunne ta kostnaden eller risikoen ved å utvikle og drifte. Her må altså staten inn og tilrettelegge for å redusere en slik risiko. CCS vil øke driftskostnadene, noe som vil være en barriere fram til kvoteprisen blir tilstrekkelig høy. Hvis det kommer til en driftsfase må virkemiddelbruken derfor også ta hensyn til dette.

Flere industribedrifter påpeker at økt bruk av naturgass kan erstatte andre fossile energibærere og gi utslippsreduksjoner i størrelsesorden 20 prosent fra enkelte kilder. Infrastruktur på naturgassrørledning til Grenlandsområdet vil kunne bidra til slike løsninger. Det er imidlertid et stort spørsmål om naturgass er en riktig overgangsstrategi for Norge på veien mot lavutslippssamfunnet. Bruk av naturgass kan lette overgangen til bruk av mer biogass, men her er tilgangen på biogass en stor barriere. Naturgass vil uansett ikke kunne gi de utslippskuttene som er nødvendig på lang sikt, uten bruk av CCS.

Vi har altså på plass virkemidler som til sammen allerede har mulighet til å bringe oss til de løsningene som etterspørres, men spørsmålet er om de enkeltvis og sammen har tilstrekkelige ressurser, mandat og organisering til at dette faktisk kan skje.

En rapport utarbeidet på oppdrag fra landende bak IEAs Renewable Technologies Deployment 'implementing agreement' (IEA-RETD), herunder Norge, drøfter og gir råd om hvordan myndigheter kan forbedre virkemiddelapparatet for å øke innovasjonsgraden for fornybare energiteknologier (IEA-RETD, 2014). Rapporten peker på effekten og viktigheten av samspillet mellom politikk som gir teknologi-"push", og de som gir incentiver til at private aktører fokuserer og investerer i innovasjon og utvikling ("pull"). "Push"-strategier inkluderer støtte til forskning, utvikling og pilot-/demonstrasjonsanlegg, mens "pull"-strategier inkluderer økonomiske virkemidler som karbonprising og feed-in tariffer og grønne sertifikater. Rapporten peker på hvordan slike virkemidler i større grad må virke sammen, og drøfter forutsetninger for et mer effektivt virkemiddelapparat for å få en raskere og mer effektiv utvikling av fornybar teknologi. De påpeker blant annet at strømlinjeforming av virkemiddelapparatet både i det enkelte land, men også i samarbeid mellom land, vil være viktig for å overkomme de barrierene vi i dag ser for å redusere klimagassutslippene.

4.2.5 Oppsummering

Siden 1990 har utslippene fra industri blitt redusert med nær 40 prosent. Reduksjonen har i hovedsak vært knyttet til prosessrelaterte utslipp som svovelheksafluorider, perfluorkarboner og lystgass som er redusert gjennom prosessoptimalisering, teknologiutvikling og nedleggelser. Utslippene av CO₂ er derimot i liten grad blitt redusert.

Det er fortsatt et potensial for å redusere utslippene gjennom energieffektivisering og å fase ut bruken av fossile brensler, men potensialet for utslippskutt gitt dagens teknologi i eksisterende industri er imidlertid begrenset.

For industrien finnes det to hovedveier for å kunne oppnå betydelige reduksjoner i utslippene av CO₂: Legge om til en prosess hvor fossile innsatsfaktorer skiftes ut med fornybare, eller ta i bruk CCS. For å lykkes med begge disse strategiene er det behov for ytterligere forskning og utvikling, og bygging av pilot og demonstrasjonsanlegg.

Det vil være både store utfordringer og store muligheter for industrien når de i løpet av det neste halve århundret må finne løsninger for å produsere med lave klimagassutslipp. Industrien er internasjonal, og Norge kan ikke drive denne utviklingen alene. Noen bransjer har imidlertid et

annet avtrykk i Norge enn i mange andre land, som ferrolegeringer og aluminium. Disse bransjene har også et stort kompetansemiljø i Norge, noe som er et godt utgangspunkt for utvikling og innovasjon. Tilgangen på naturgass kan tilsi at CCS for en del bransjer også er spesielt viktig for Norge.

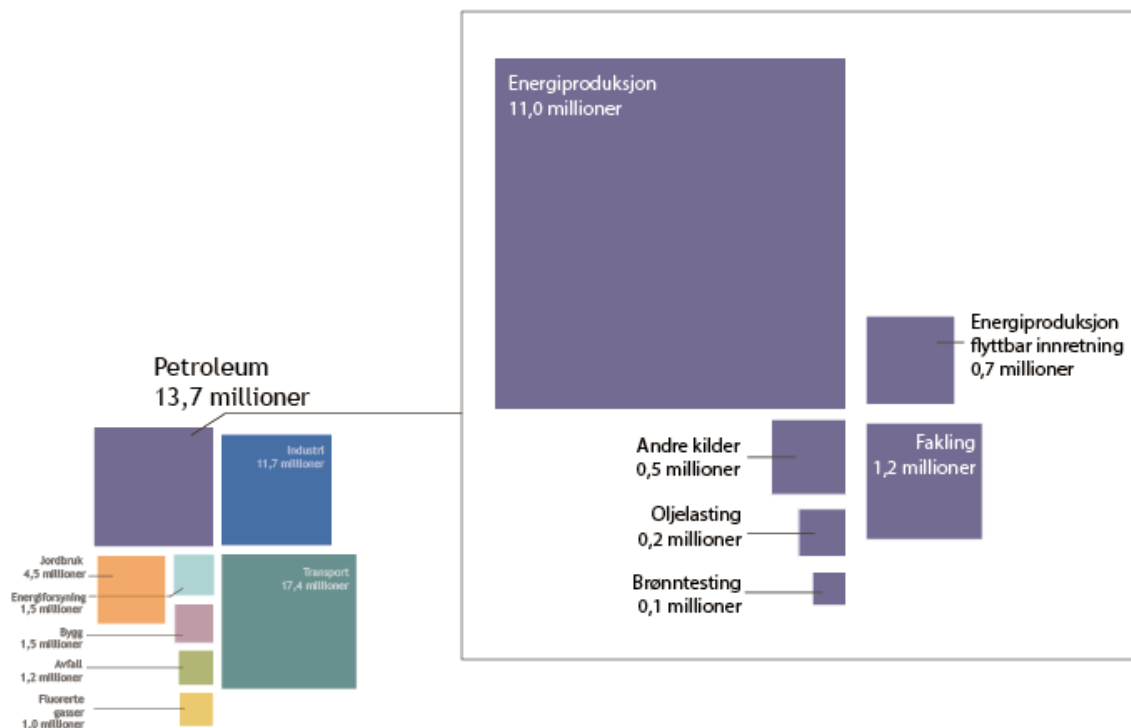
Ut fra de utslippskuttene industrien forventes å bidra med inn i et lavutslippssamfunn, er det noen hovedløsninger som kan være på plass innen 2030:

- Ha realisert store energieffektiviseringsgevinster for å redusere etterspørsel etter energi i all industri.
- Ha faset ut fossile energibærere til stasjonær forbrenning i industri der det er mulig, gjennom overgang til elkjeler, varmepumper, biokjeler eller biogass/oljer.
- Kommet langt på vei med å utvikle teknologi som kan redusere utslippene fra prosessindustri, det vil si. fra ferrolegeringer, aluminium og sement. Utslppsreduksjon fra prosessutslipp fra produksjon av ferrolegeringer og aluminium er viktig for å muliggjøre vekst av denne produksjonen globalt, uten å øke de globale utslippene.
- Etablering av ny industri må være innrettet på et lavutslippssamfunn. Dette gjelder for eksempel lokalisering - at de kan utnytte energiresurser og gjenvinne avfallsprodukter enten i egen produksjon eller i samarbeid/synergi med annen industri eller aktivitet. Det gjelder også teknologi - prosessintegrering som utnytter råvarer og energi optimalt.
- Ha foregangsbedrifter som demonstrer storskala CCS som relevant teknologi. Dette er særlig viktig på industri som er viktig i en global kontekst, slik at teknologien har stor overføringsverdi, eller for industri som benytter naturgass eller petroleum, som er viktige norske energi- og råvarer.
- Fremme utvikling og produksjon av biobaserte energiprodukter og råvarer.

4.3 Petroleum

Utslipp av klimagasser fra petroleumssektoren i 2012

Utslipp til luft (tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 4-13 Utslipp fra petroleumssektoren i 2012.

4.3.1 Innledning

Dette kapittelet omhandler petroleumssektorens rolle på veien mot et lavutslippssamfunn. Innledningsvis gjør vi rede for hva sektoren omfatter. Deretter beskrives utslippene fra petroleumssektoren slik de er i dag, hvordan utslippsutviklingen har vært siden 1990 og hvordan utslippsutviklingen forventes å bli fram mot 2050. Videre beskrives muligheter og teknologier som kan bidra til en mer utslippseffektiv petroleumssektor.

Petroleumssektoren omfatter alle faste og flyttbare innretninger på norsk sokkel og mottaks- og behandlingsanlegg på land (det vil si landanleggene Kollsnes, Kårstø, Ormen Lange og Hammerfest LNG, og oljeterminalene på Mongstad og Sture). Sektoren tilsvarer sektoren *Olje- og gassutvinning* i det nasjonale utslippsregnskapet.

Analyser av mulige tiltak for å redusere klimagassutslippene frem mot 2030 er gjort med utgangspunkt i dagens teknologi. I tillegg har vi gjort noen refleksjoner omkring hva forlenget levetid på felt kan tenkes å ha og si for framtidige utslipp.

Vi har ikke utredet tiltak som går på å begrense aktivitetsnivået på sokkelen. Vi har derimot gjort noen vurderinger av mulig global utvikling i etterspørsel etter fossil energi dersom verden går mot et lavutslippssamfunn.

4.3.2 Utslipp og framskrivinger

4.3.2.1 Beskrivelse av utslippskilder i sektoren

Petroleumssektorens utslipp av klimagasser utgjorde 13,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter¹⁴ i 2012. Dette tilsvarer om lag en fjerdedel av de samlede norske klimagassutslippene. I 2012 hadde Oseberg, Kårstø landanlegg og Hammerfest LNG de største utslippene i sektoren.

Hovedkilden til utslipp av CO₂ fra petroleumssektoren er energiproduksjon, det vil si forbrenning av brenngass i turbiner. Energiproduksjonen utgjorde ca. 80 prosent av utslippene fra sektoren i 2012. Derneft kommer fakling som utgjorde ca. 9 prosent.

Olje- og gassproduksjon medfører også utslipp av metan, som i tillegg til å være en klimagass, tilhører gruppen kortlevde klimadrivere. Disse kjennetegnes ved at de har sterk effekt på klima og helse, men kort levetid i atmosfæren. De viktigste utslippskildene til metan er kaldventilering¹⁵, diffuse utslipp fra lekkasjer i prosessanlegg, oljelasting og lagring offshore, og uforbrente utslipp fra stasjonær forbrenning. Basert på dagens kunnskap om utslippenes størrelse utgjør metanutslippene fra petroleumssektoren omlag 580 000 tonn CO₂-ekvivalenter. Størrelsen på metanutslippene fra offshore-aktiviteter er imidlertid beheftet med stor usikkerhet.

4.3.2.2 Utslippsutvikling

Historisk sett har det vært lagt til grunn at utslippsutviklingen følger produksjonsutviklingen i petroleumssektoren. I dag knyttes utslippsforventningene i større grad til energibehov. Det er heller ikke slik at energibehovet nødvendigvis følger produksjonen. Årsakene til dette kan være:

- Økt behov for vann- og/eller gassinjeksjon for å få opp ressursene fra aldrende felt.
- Lavere reservoartrykk som krever ekstra kompresjonskraft på aldrende felt.
- Økende andel gass som krever komprimering før transport til Europa - det er energikrevende å transportere gass til markedene.
- Virksomhetene beveger seg nordover. Nye felt i Barentshavet og Norskehavet ligger langt fra markedene, som også medfører større behov for energi til transport.

I tillegg antas nye utbygginger i større eller mindre grad å benytte eksisterende infrastruktur. Nye ressurser fases inn til eksisterende innretninger og utnytter ledig kraftkapasitet.

Utslippene fra petroleumssektoren blir regulert gjennom flere lover, bl.a. CO₂-avgiftsloven, klimakvotelovent, forurensningsloven og petroleumsloven. Sentralt i petroleumslovgivningen er prosessene knyttet til konsekvensutredninger og godkjenning av nye utbyggingsplaner. Anleggene på land kommer i tillegg inn under kravene i plan- og bygningsloven.

CO₂-avgiften som ble innført i 1991 har vært hovedvirkemiddelet for å redusere utslipp av CO₂ på norsk sokkel. Innføring av CO₂-avgiften førte til bevisstgjøring knyttet til mer energieffektiv drift av innretningene på sokkelen, og mange kostnadseffektive tiltak for å redusere CO₂-utslippene ble satt i verk.

Klimakvotelovent som trådte i kraft i 2005 gjaldt i første omgang for anleggene på land, med unntak av Hammerfest LNG. I 2008 ble også petroleumssektoren offshore (inklusive Hammerfest LNG) underlagt kvoteplikt. Dette innebærer at petroleumssektoren i tillegg til CO₂-avgiften må levere inn

¹⁴ Tall fra SSB

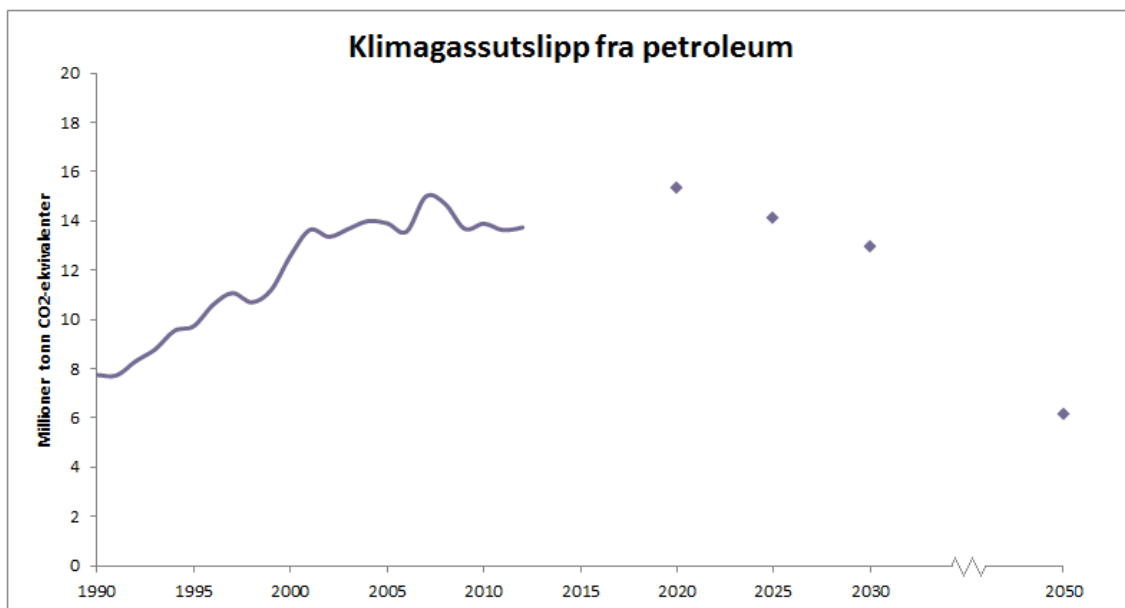
¹⁵ Gassventilering som det er planlagt for i designfasen

kvoter tilsvarende sine CO₂-utslipp. Fra 1. januar 2013 ble CO₂-avgiften økt fra 200 kr per tonn til 410 kr per tonn på grunn av den lave kvoteprisen. Samlet utgjorde CO₂-avgiften og kvoteprisen i underkant av 465 kroner per tonn CO₂ i 2013.

I Carbon Limits rapport *Konsekvenser av lave kvotepriser i EU-ETS* (Carbon Limits, 2014) ble det vurdert at verken CO₂-avgift, kvotepris, eller summen av disse hadde noen særlig innvirkning på beslutningene for større investeringsprosjekter i petroleumssektoren. Dette er fordi utslippskostnadene er en relativt liten del av det totale kostnadsbildet for sektoren. Rapporten konkluderte videre med at teknologiløsninger innenfor sektoren i større grad påvirkes av forhold som blant annet HMS-krav og myndighetskrav om å velge løsninger som gir lave klimagassutslipp.

Alle operatører i petroleumssektoren må ha tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven. Tillatelsene inneholder bestemmelser om energieffektivitet og bruk av beste tilgjengelige teknikker (BAT) i tråd med industriutslippsdirektivet (Industrial Emissions Directive, IED). Operatørene må også ha tillatelse til kvotepliktige utslipp etter forurensningsloven.

Referansebanen som er presentert i Figur 4-14 er utviklet av Miljødirektoratet med basis i perspektivmeldingen fra 2013.



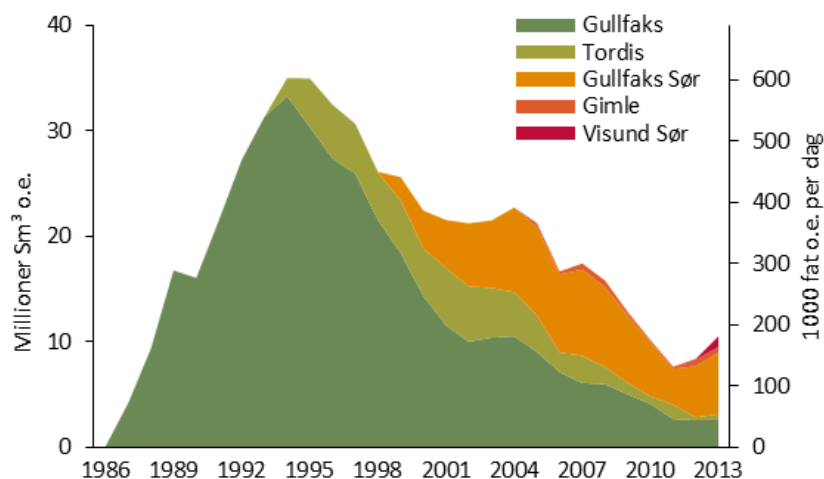
Figur 4-14 Utslippsutvikling (1990–2012) og framskrivinger (2020–2050) for petroleumssektoren.

Det er Oljedirektoratet som er ansvarlig for utslippsprognosene for sektoren og som gir innspill til de offisielle prognosene som utarbeides av Finansdepartementet. Tidligere har utslippsframskrivingene i stor grad vært basert på forventede produksjonsvolumer. Fra 2011 er metoden endret slik at utslippsprognosen i større grad er knyttet til driften av innretninger og utslipp fra kraftgenererende utstyr. Utgangspunktet for endringen i metode for utslippsprognoser, var erfaring med hvordan det kraftgenerende utstyret på et felt, og antatt levetid for innretninger, har endret seg over tid.

OD antar nå at framtidig produksjon som knyttes til eksisterende innretninger ikke øker utslippsnivået. Samtidig antas det at utslippene ikke faller like fort som i tidligere prognoser. Dette er i tråd med historiske tall som viser at utslippene er relativt konstante selv om produksjonsmengden varierer. Utslippsnivået i framskrivingene blir dermed antatt å være mer

stabilt, med mindre utslippsvekst knyttet til nye feltutbygginger og mindre utslippsreduksjon knyttet til redusert produksjon fra feltene som er i drift.

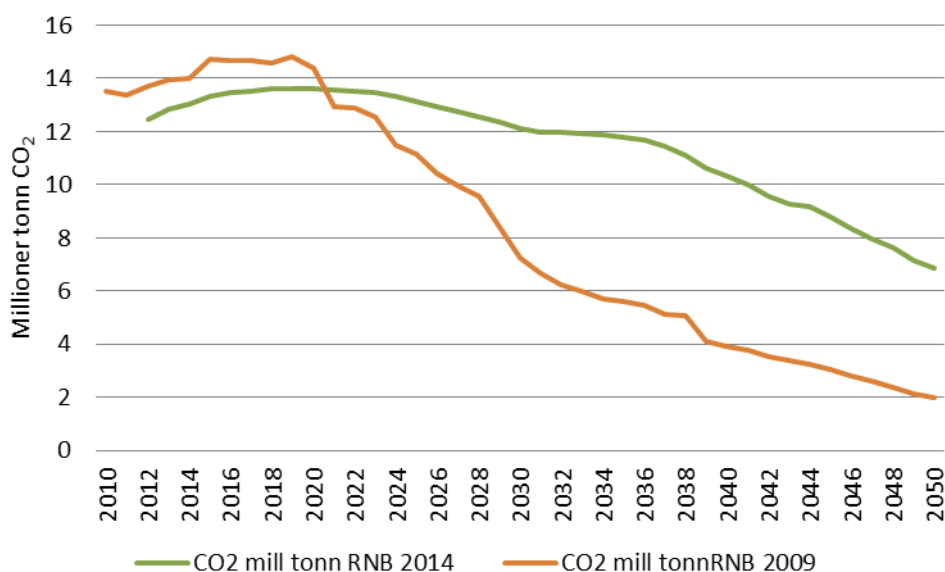
Gullfaks er et eksempel på at eksisterende kraftutstyr offshore kan brukes til å gi kraft til nye utbygginger. Prosesskapasiteten på Gullfaks gjør at feltet også kan ta imot og behandle produksjon fra de omkringliggende feltene Gullfaks Sør, Gimle, Tordis og Visund Sør. Visund-feltet er et eget knutepunkt, men transporterer ferdig prosessert olje via Gullfaks. På denne måten øker antall felt i drift uten at utslippene øker.



Figur 4-15 Petroleumsproduksjon på Gullfaksinnretningene, egne- og tredjepartsvolum. Kilde: Oljedirektoratet.

På kort sikt er ODs prognoser basert på data innmeldt av operatør med deres antatte teknologijustering. På mellom- og lang sikt har OD tatt inn en forventet nedjustering av utslippene basert på vurdering av ny teknologi, modifikasjoner, energieffektivisering og kraft fra land. Ved å inkludere potensielle utslippsreduksjoner i prognosen er realiseringen av disse allerede inkludert. Dette er det viktig å være oppmerksom på i forbindelse med tiltaksvurderinger, slik at man ikke regner de samme utslippsreduksjonene to ganger.

Figur 4-16 viser utslippsprognosen fra RNB 2009 som ble lagt til grunn i Klimakur 2020 og utslippsprognosen som ble utviklet i forbindelse med RNB 2014. I dette oppdraget har vi benyttet framskrivingene gitt av PM 2013 ettersom tallgrunnlaget i Figur 4-16 har blitt utviklet parallelt med våre tiltaksvurderinger. Den nye framskrivingen har noe lavere utslipp i 2030, og noe høyere utslipp i 2050, men forskjellen er relativt liten. Den store forskjellen er i forhold til den som lå til grunn for Klimakur 2020. Framskrivningene gitt i RNB 2014 vil bli benyttet i vårt videre arbeid (Fase III).



Figur 4-16: Utslippsprognose til RNB 2009 og RNB 2014 (Kilde: Oljedirektoratet)

4.3.3 Petroleumssektoren i et lavutslippssamfunn

4.3.3.1 Petroleumssektoren i 2050

Det er i utgangspunktet teknisk mulig, men kostnadskrevende, å oppnå en nærmest utslippsfri olje- og gassproduksjon.

Klimagassutslippene fra sektoren er knyttet til stasjonær forbrenning, ventilering av gass (kaldventilering) samt lekkasjer fra diverse prosessutstyr. Vi har allerede teknologi tilgjengelig som kan fjerne utslippene fra stasjonær forbrenning, men noe utslipp fra sikkerhetsfakling og mindre utslipp fra forbrenning av diesel vil nok måtte forekomme. Det finnes også teknologi tilgjengelig som kan minimere utslipp fra kaldventilering og lekkasjer fra diverse prosessutstyr.

Reduksjonspotensialet ved deelektrifisering vil være varierende. Dersom man skal oppnå svært store utslippsreduksjoner, vil en måtte vurdere heelektrifisering av eksisterende innretninger der man kan forvente lang levetid. Hvor teknisk krevende heelektrifisering vil være, vil avhenge av hvordan ulike innretninger er konstruert.

Ved å elektrifisere nye innretninger fra oppstart av unngår man nye store punktutslipp med lang levetid som vil bli dyre å elektrifisere senere. Dersom man velger å åpne for produksjon i nye områder som ligger langt fra land, som for eksempel i Barentshavet Nord, vil elektrifisering med kraft fra land bli svært teknisk krevende eller umulig.

4.3.3.2 Etterspørselen etter olje og gass i et lavutslippssamfunn

Forbrenning av olje, kull og gass er hovedkilden til global oppvarming. Dersom verden skal nå togradersmålet må forbruket av fossile energikilder reduseres betydelig, og energiproduksjon og transportsektoren må over på fornybare energikilder. Redusert forbruk vil antageligvis være et resultat av ulike faktorer, som karbonprising, utfasing av fossile subsidier, reguleringer og ikke minst teknologitviking som gjør at alternative teknologier blir konkurransedyktige.

Eksempelene på endring som er beskrevet i kapittel 2 gir et bilde av uforutsigbarheten vi står ovenfor. Ved forbrenning er gass renere enn kull og mange tror at gass blir viktig i en overgangsfase

mot et lavutslippssamfunn. Det er imidlertid stor usikkerhet og her vil markedskreftene avgjøre fordelingen, basert på rammebetingelsene som myndighetene setter. Høy CO₂-pris kan gjøre gass mer attraktivt enn kull i bruksområder som kraftproduksjon, der kull og gass er konkurrenter. Lave kostnader på energi fra sol og vind vil påvirke etterspørselen etter fossil energi ulikt i ulike land og regioner. For eksempel vil økt utbygging av lokal solkraft i utviklingsland redusere etterspørselen etter diesel og parafin, mens storskala sol- og vindkraftutbygginger i Europa, USA og Australia vil kunne redusere etterspørselen etter både kull og naturgass. Omlegging av transportsektoren til bruk av fornybare energikilder vil isolert sett trekke i retning av lavere global oljeetterspørsel. Utvikling av nye biobaserte produkter som for eksempel bioplast vil også over tid kunne redusere etterspørselen etter olje og gass.

DNBs oljeanalytiker Torbjørn Kjus utalte nylig at økningen i fornybar produksjon allerede påvirker oljeprisene¹⁶. Ifølge hans analyser vil økningen i kinesisk fornybarproduksjon i år tilsvare en oljeetterspørsel på om lag 837 000 fat per dag. Til sammenligning anslår det internasjonale energibyrået (IEA) en samlet oljeetterspørsel på 10,3 millioner fat per dag i Kina i 2014. Lavere olje- og gasspriser til produsentene betyr ikke nødvendigvis lavere priser for forbrukerne, som også må betale for utslippene olje, kull og gass medfører gjennom ulike avgifter og reguleringer.

Rystad Energy utførte i 2013 på oppdrag fra Miljøverndepartementet (nå Klima- og miljødepartementet) en analyse av hvilke olje- og gassfelt som vil "bli liggende" i et scenario der verden når togradersmålet (Rystad Energy, 2013). Analysen tok utgangspunkt i et karbonbudsjett i hovedsak konsistent med "450 Scenarioet" fra IEAs World Energy Outlook. Med utgangspunkt i kostnadsanslagene i denne databasen ble det gjort vurderinger av hvilke felt som vil være konkurransedyktige i et togradersscenario. Alle felt og leteområder er rangert etter "break-even" priser fra lavest til høyest. Deretter er CO₂-utslippene aggregert inntil karbonbudsjettet på 99 Gigatonn er nådd. Dette skjer ved en "break-even" pris på 72 USD per fat. Tar man hensyn til marginene som oljeselskapene trenger, tilsvarer dette i praksis en oljepris på 85-90 USD per fat. I et slikt scenario vil felt som trenger høyere priser bli såkalte "stranded assets", det vil si felt forekomster som er ulønnsomme å utvinne. Alle olje- og gassfelt som per i dag er i produksjon eller under utvikling vil fortsette å produsere. Her er investeringskostnadene allerede tatt ("sunk costs") og disse feltene vil kunne konkurrere i en verden med lavere oljepriser.

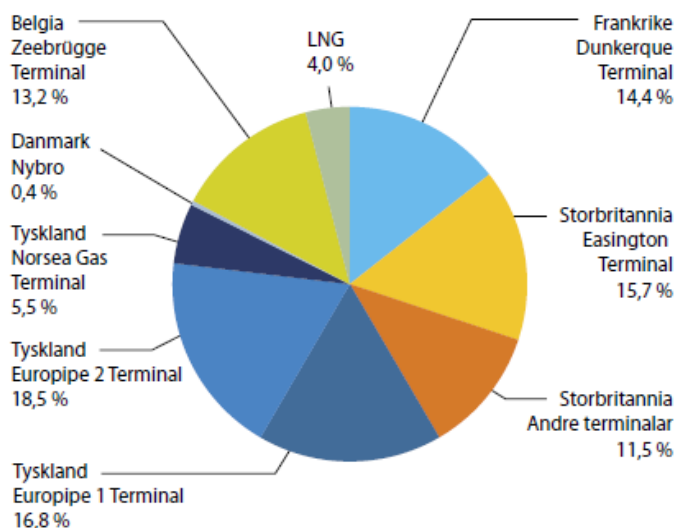
Eksempler på ressurser som i henhold til Rystad-rapporten ikke vil kunne konkurrere er:

- Oppdagede ressurser med ekstremt dype reservoarer, krevende overflateforhold, svært lav permeabilitet, sur eller svært tung olje eller oljesand. De største forekomstene av ikke-kommersialiserbare ressurser i togradersscenarioet befinner seg i Russland, Canada og Midt-Østen.
- Uoppdagede ressurser i områder med høye kostnader knyttet til leting, utvikling og drift, spesielt i Nord- og Sør-Amerika, og i Arktis.

Dette er selvfølgelig en forenklet analyse basert på en mengde med antagelser. Det er likevel robust å anta at i et togradersscenario vil en del ressurser bli liggende urørt. (Se faktaboks i kapittel 1.1 om karbonbudsjettet). Selv om eksisterende felt fortsatt vil kunne produsere, vil fortjenesten fra feltene bli lavere enn det man forventer i et "business-as-usual" scenario.

¹⁶ DN 28. august 2014

I tillegg til det globale perspektivet er det interessant å se på hva et lavutslippssamfunn vil bety for gassetterspørsel i "hjemmemarkedet". Nesten all norsk gass selges i det europeiske markedet (se Figur 4-17). Som beskrevet i kapittel 2 har EU et mål om å redusere utslippene av klimagasser med 80-95 prosent fram mot 2050 sammenliknet med nivået i 1990. Minst 80 prosent skal tas som utslippsreduksjoner i EU.



Figur 4-17 Norsk naturgasseksport i 2013 fordelt på leveransepunkt. Kilde: Gassco og Oljedirektoratet

I 2010 innførte Angela Merkels regjering målsetninger for andelen fornybar kraft for hvert tiår fram mot 2050: 40-45 prosent innen 2025, 55-60 prosent innen 2035 og minst 80 prosent fornybar kraftproduksjon innen 2050. Det tyske Miljødirektoratet (Umwelt Bundes Amt) beskriver i rapporten 2050: 100 % - Energy target 2050: 100 % renewable electricity supply (UBA, 2010) at elektrisitetsforsyning som bare er basert på fornybar energi innen 2050, er teknisk mulig og også bærekraftig med hensyn på natur og lokalmiljø. Ifølge den etterfølgende rapporten *Germany 2050 - a greenhouse gas-neutral country* (UBA, 2013), kan utslippene fra energisektoren være tilnærmet null i 2050 uten å benytte fossil energi med CCS.

Storbritannia har et mål om 80 prosent utslippsreduksjon 2050 som er forankret i lov. Det britiske Department of Energy & Climate Change beskriver i sin rapport *The Carbon Plan: Delivering our low carbon future* (Department of Energy and Climate Change, 2011) at det forventes at kraftsektoren vil ha utslipp nær null innen 2050. Energieffektivisering blir viktig, og myndighetene forventer at elektrisitetsetterspørselen vil bli dekket av fornybar energi, av en ny generasjon kjernekraftverk og av kull- og gasskraftverk med CCS. I et kortere perspektiv forventes utslippskutt ved bytte fra kull- til gasskraft.

Gjennomgangen ovenfor illustrerer den store usikkerheten man står overfor. Dersom verden lykkes i å redusere klimagassutslippene i tråd med togradersmålet, vil dette ha betydning for energimarkedene. Denne usikkerheten bør reflekteres i langsiktige vurderinger, enten det gjelder åpning av nye områder eller økonomien i nye felt.

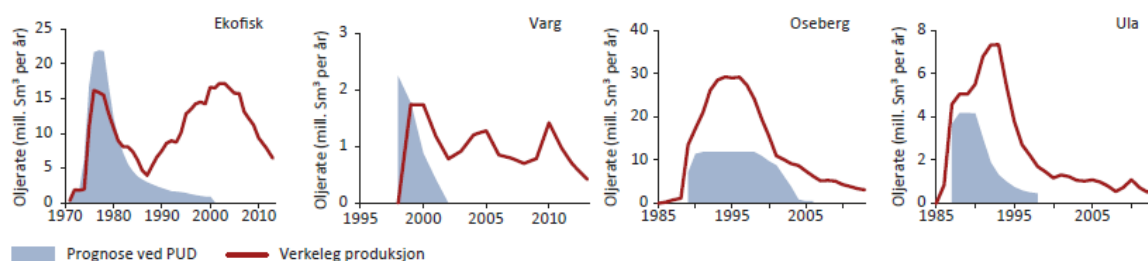
4.3.4 Levetidsvurderinger

Feltenes levetid er avgjørende for tiltakenes reduksjonspotensial over tid, og dermed for tiltakskostnadene. Vi har derfor valgt å diskutere levetidsforventninger, før vi ser på de ulike tiltakene.

Opprinnelig antatt levetid for et felt er tiden feltet forventes å kunne produsere. Levetiden er oppgitt i plan for utbygging og drift (PUD). Oppdaterte antagelser kan finnes i operatørenes årsrapporter eller i samtykkesøknader om levetidsforlengelser i medhold av petroleumsloven.

Ny teknologi, nye driftsmetoder og tiltak som gjør det mulig å få opp mer olje og gass enn det som opprinnelig var planen, bidrar til at feltenes levetid forlenges. Samtidig kan nye funn knyttes til eksisterende innretninger og øke antall år innretningene kan produsere - tilsvarende Gullfakseksemplet beskrevet over.

Norge har en rekke felt som har vært i produksjon lenge. I faktaheftet til Olje- og energidepartementet og Oljedirektoratet for 2014 (OED og OD, 2014) gis det noen eksempler på hvordan produksjonsprofilene har endret seg for feltene Ekofisk, Varg, Oseberg og Ula, se Figur 4-18 under.



Figur 4-18 Produksjonsutvikling for Ekofisk, Varg, Oseberg og Ula. Kilde: Oljedirektoratet

Felles for eksemplene er at alle de fire feltene har produsert lenger enn hva prognosen ved PUD tilsa. Vi har i dag ingen eksempler på at en innretning på norsk sokkel har blitt stengt ned i tråd med feltets opprinnelige prognose.

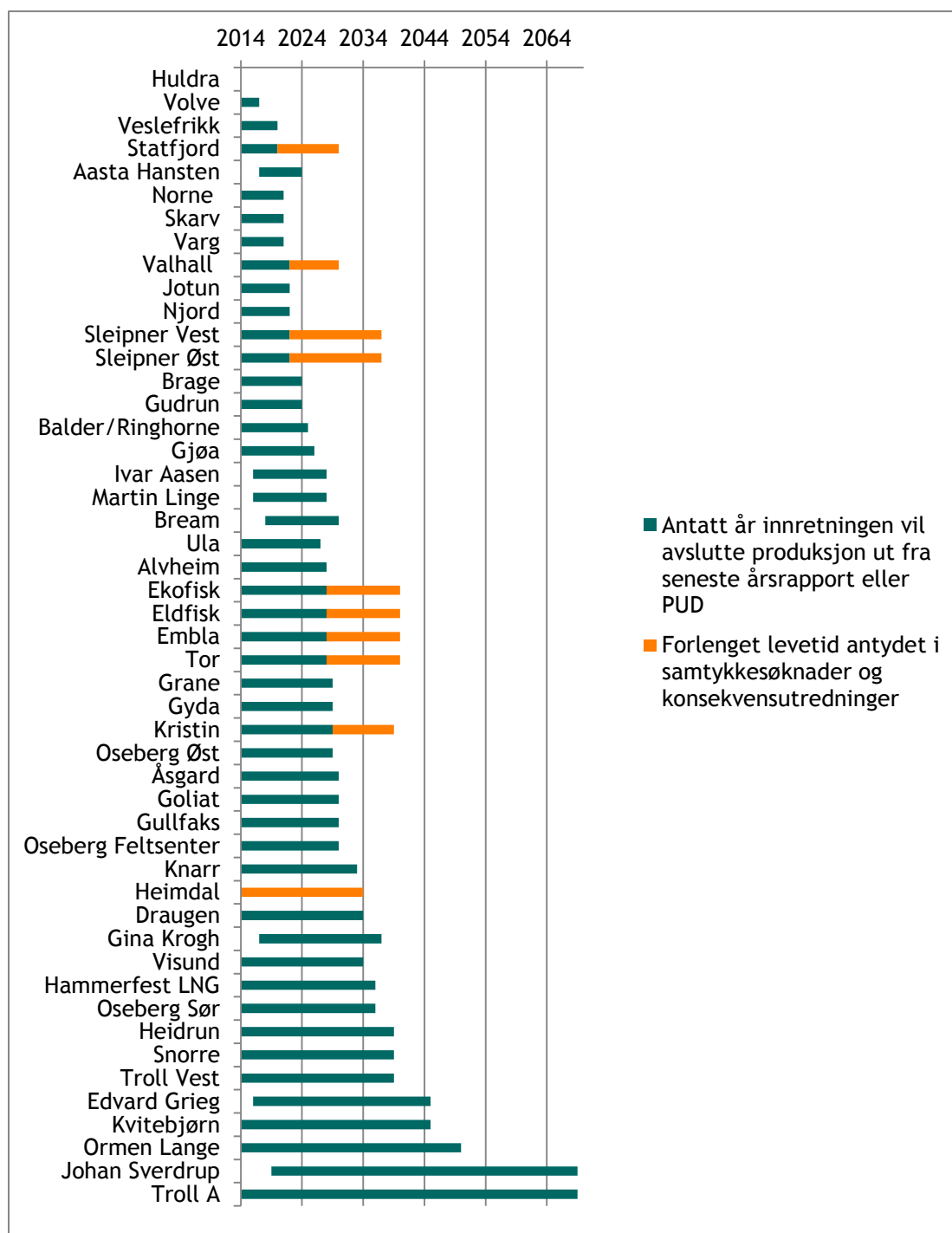
Norges første oljefelt, Ekofisk, var da det først startet opp i 1971, forventet å produsere til omtrent år 2000, med en opprinnelig forventet utvinnsgrad på 17 prosent. Senere har avgrenset gassinjeksjon og omfattende vanninjeksjon gjort sitt for å øke oljeutvinningen vesentlig. Utvinnsgraden for Ekofisk i 2012 var omtrent 50 prosent. PUD for Ekofisk Sør ble godkjent i 2011 og inkluderer to nye innretninger (OED og OD, 2012). I konsekvensutredningen av 2010 framgår det at Ekofiskfeltet mest sannsynlig fortsatt vil være i produksjon i 2040.

Vi vet altså at teknologisk utvikling gjør at innretningers levetid forlenges samtidig som CO₂-utslippene holder seg relativt konstante så lenge ikke antall turbiner på innretningen endres. På bakgrunn av dette har Miljødirektoratet gjort en grov analyse for å synliggjøre hvilke innretninger som vil kunne leve lenge og ha betydelige utslipp fremover. Vi har ikke brukt resultatet av analysen videre i tiltaksanalysen. Formålet med denne analysen er å synliggjøre at elektrifisering av eksisterende og planlagte innretninger er viktig dersom man vil sikre betydelige utslippsreduksjoner i sektoren i årene fremover.

4.3.4.1 Feltspesifikk levetidsanalyse

I Figur 4-19 under er antatt produksjonstid illustrert for eksisterende og planlagte innretninger/felt på norsk sokkel. Levetidene gitt av de grønne søylene er i all hovedsak hentet fra operatørenes årsrapporter (det vil si siste forventninger) for felt som er i drift i dag, mens levetiden for de planlagte er hentet fra PUD. Vi har tatt utgangspunkt i antatt levetid for feltet der innretningen er plassert, samt tilknyttede felt. I tillegg har Miljødirektoratet lagt til opplysninger om utvidet levetid

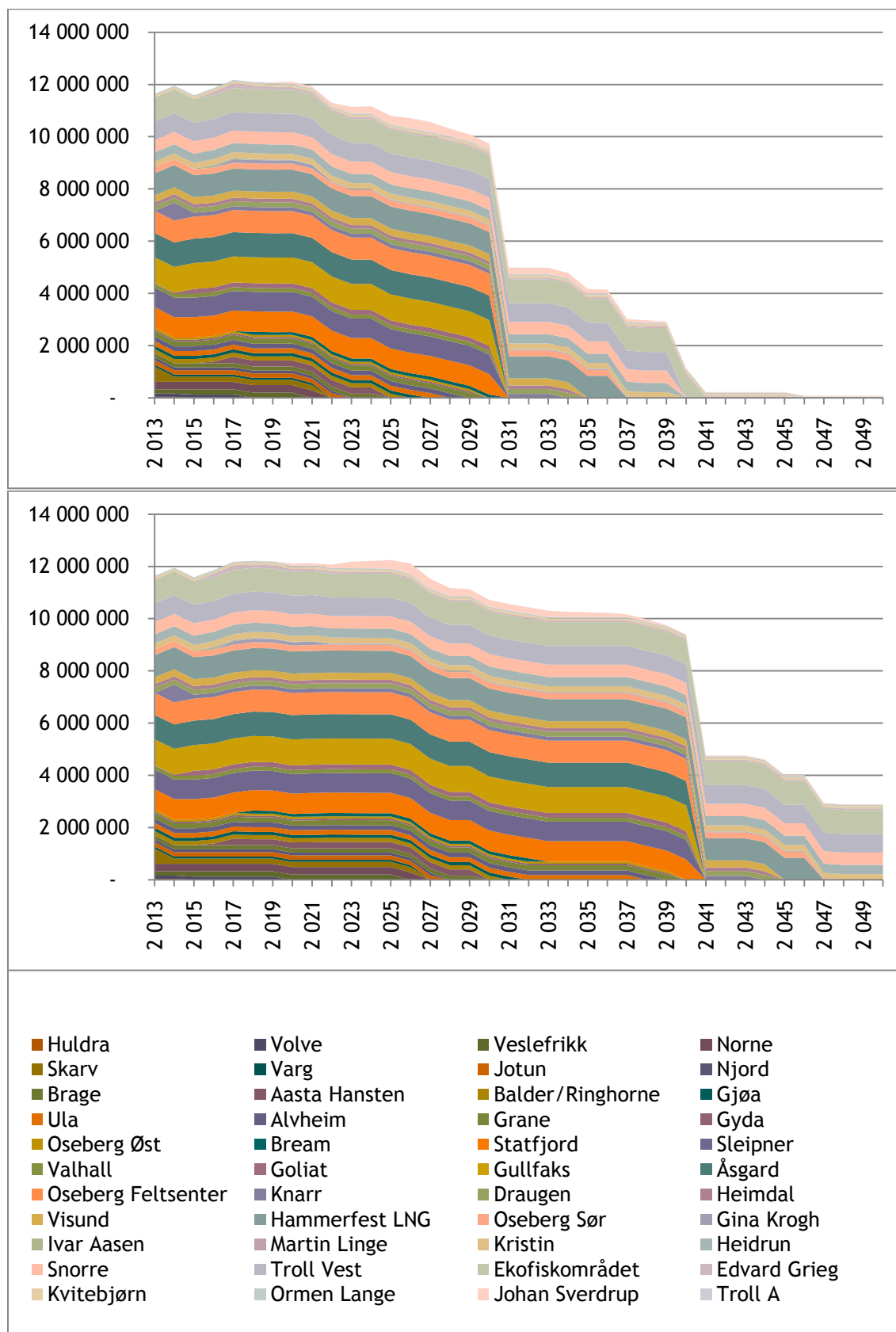
for noen av de eksisterende feltene med bakgrunn i samtykkesøknader om levetidsforlengelser og konsekvensutredninger. Disse forventningene er representert ved de oransje søylene.



Figur 4-19 Hvor lenge eksisterende og planlagte innretninger er forventet å produsere.

Dersom man legger disse levetidene til grunn og antar at utslippene fra eksisterende innretninger og planlagte felt holder seg konstante, blir utslippene som vist i Figur 4-20. Utslippene for nye innretninger er basert på informasjon i PUD, og for eksisterende felt har vi benyttet 2013-utslippene rapportert til Miljødirektoratet i forbindelse med årlig kvoterapportering (mer detaljerte antagelser er vist under Figur 4-21).

Dersom man antar et mer teknologioptimistisk scenario der vi forutsetter at ny og forbedret teknologi forlenger feltenes levetid, blir levetiden for de samme feltene som vist i Figur 4-21 (mer detaljerte levetidsantagelser er omtalt etter denne figuren).



Figur 4-20 (øverst) Forventningene baserer seg på at eksisterende innretninger har samme utslippsnivå som i dag og at utslippene fra nye planlagte innretninger blir som forventet i konsekvensutredninger, i forslag til program for konsekvensutredninger eller i søknad om tillatelse til virksomhet i medhold av forurensningsloven.

Figur 4-21 (nederst) Mulig forventede utslipp dersom man antar at feltlevetidene blir lenger.

Figurforklaringer:

Figur 4-20 viser hvordan utslippene fra eksisterende og planlagte innretninger vil kunne være frem til 2050 dersom en antar at:

- Utslippsnivået til eksisterende innretninger vil forbli konstant gjennom den antatte levetiden.
- Utslippene fra Martin Linge, Goliat, Edvard Grieg, Ivar Aasen, Gina Krogh, Aasta Hansteen og Bream blir som forventet i konsekvensutredningene for feltene.
- Utslippene fra Johan Sverdrup blir som forventet i forslag til program for konsekvensutredning.
- Utslippene fra Knarr blir som oppgitt i søknad om tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven for drift på Knarrfeltet.
- Utslippene på Veslefrikk endres ikke etter avslutning av Huldra fordi kraftgenererende utstyr ikke endres.

Antagelsene som er gjort for forlengelse av levetiden i Figur 4-21 er:

- For felt i slutfasen er dagens antatte levetid lagt til grunn. Volve forventes per i dag å ha en levetid til 2016. Her har vi forlenget levetiden med to år.
- For innretninger som i dag produserer fra felt med antatte levetider mellom 2020 og 2030 er produksjonen forlenget med fem år.
- For innretninger som allerede i dag forventes å produsere lenger enn til 2030 er produksjonen forlenget med ti år.
- Innretninger som i dag har en antatt levetid til 2039 eller lenger er antatt å fortsatt være i produksjon i 2050.

I det teknologioptimistiske scenarioet er gjenværende utslipp fra eksisterende og planlagte innretninger på om lag 3 millioner tonn CO₂ i 2050.

I Oljedirektoratets nye prognoser (RNB 2014) gitt av Figur 4-16 forventes utslipp på omtrent 6,8 millioner tonn CO₂ i 2050. Denne prognosen inkluderer også nye felt og utslipp fra landanleggene utover Hammerfest LNG og Ormen Lange som vi har inkludert i vår analyse.

4.3.5 Tiltaksanalyse mot 2030

I forbindelse med Klimakur 2020 gjennomførte OD en oppdatering av tiltakskostnadene for elektrifisering av eksisterende innretninger og landanlegg basert på arbeidet som var gjort ved utarbeidelse av rapporten *Kraft fra land til norsk sokkel* (OD, NVE, PTIL og SFT, 2008). Som del av vårt oppdrag har OD på forespørsel blitt bedt om å oppdatere disse beregningene. På grunn av den korte tiden tilgjengelig og behovet for tekniske studier har det ikke vært mulig for OD å oppdatere beregningene til denne leveransen. Overordnet mener OD at kostnadene ved tiltakene er høyere enn det som ble presentert i Klimakur 2020. Basert på informasjonen fra OD har vi valgt å legge alle elektrifiseringstiltakene som ble utredet for eksisterende felt i Klimakur 2020 i den høyeste kostnadskategorien.

Som tidligere nevnt er ca. 80 prosent av utslippene fra sektoren knyttet til energiforbruk. Tiltak som reduserer det fossile energibehovet er her delt i to hovedkategorier: Elektrifiseringstiltak og energieffektiviseringstiltak. I tillegg har vi sett på tiltak som reduserer fakling, utslipp av metan og dieselforbruk. Avslutningsvis i kapittelet oppsummerer vi tiltakene i tabeller.

4.3.5.1 Elektrifisering og kraftsamkjøring

Både hel- og delelektrifisering av innretninger på sokkelen, der kraft fra land erstatter lokal kraftproduksjon, vil redusere utslippene i Norge fra forbrenning av gass. Med delelektrifisering menes her at turbiner som produserer elektrisk kraft i generatorer erstattes med kraft fra land.

Dersom også pumper og kompressorer som drives ved bruk av gassturbiner direkte (ikke via elektromotorer) elektrifiseres, er innretningen helelektrifisert. Både hel- og delelektrifisering er gjennomført og planlagt gjennomført for flere nye innretninger på norsk sokkel. I tillegg er landanleggene Kollsnes og Ormen Lange forsynt med kraft fra nettet.

Det er krav om at alle planer for utbygging og drift av olje- og gassfelt (PUD/PAD) skal ha en god og effektiv energiløsning, og en analyse av mulig kraftforsyning fra land. Dette gjelder både nye feltutbygginger og større modifikasjoner på eksisterende innretninger og anlegg på land.

Flere av innretningene på norsk sokkel er også kraftsamkjørte, det vil si at kraften kommer fra en nærliggende innretning eller felt.

Tabell 4-4 nedenfor viser eksempler på kraftforsyningsløsninger som er valgt for nye innretninger/felt som kommer i drift før 2020.

Tabell 4-4 Eksempler på kraftforsyningsløsninger for innretninger som kommer i drift før 2020.

Innretning/felt	Kraftløsning	Kraft fra land/nærliggende felt
Gudrun	Kraftsamkjørt	Kabel fra Sleipner A (turbindrift)
Valemon	Kraftsamkjørt	Kraft i kabel fra Kvitebjørn (turbindrift)
Goliat	Delelektrifisert	Kraft fra land + en turbin med varmegjenvinning
Edvard Grieg	Egenprodusert kraft/klargjort for kraft fra land	To turbiner, kraft fra land når tilgjengelig
Ivar Aasen	Kraftsamkjørt	Kraft fra Edvard Grieg
Martin Linge	Helelektrifisert	Kraft fra land
Gina Krog	Egenprodusert kraft/klargjort for kraft fra land	En turbin, kraft fra land når tilgjengelig
Johan Sverdrup fase 1	Helelektrifisering	Kraft fra land + gassfyrte kjeler
Johan Sverdrup fase 2	Helelektrifisering	

Parametere som har betydning for tiltakskostnaden for elektrifisering av eksisterende innretninger er blant annet gass- og kraftpriser, feltets avstand til land (kabelkostnader, omformerstasjonskostnader, muligheten for avsetning av frigjort gass, virkningsgrad på turbinene som erstattes og varmebehovet (eventuell ombygging fra dagens varmegjenvinningssystem). Elektrisk oppvarming er i de fleste tilfellene vurdert som mindre effektivt enn gassfyrte kjeler og gjenvinning av varme fra turbinenes eksosgass. Andre parametere som har betydning er felt- og innretningslevetid, plass og vekt, nedetid (produksjonsstans) og kostnader forbundet med ombygging av eksisterende utstyr.

Elektrifisering av nye felt har vist seg å være et konkurransedyktig alternativ for innretninger som for eksempel Gjøl (KonKraft, 2009). For Valhall ble den gamle prosessinnretningen og det gamle boligkvarteret erstattet med ny innretning. Her ble også helelektrifisering foretrukket framfor egenprodusert kraft.

I rapporten *Kraft fra land til norsk sokkel* (OD, NVE, PTIL og SFT, 2008) ble tiltakskostnader for delelektrifisering av eksisterende produksjonsinnretninger vurdert. Helelektrifisering ble ikke vurdert fordi dette innebærer mer omfattende modifikasjonsarbeid og fordi det var vanskelig å framskaffe realistiske kostnadsestimater for de enkelte innretningene. Studien var basert på bruk av

kjent teknologi. Produksjonsskipene var derfor ikke en del av studien. Dette omfatter feltene: Balder, Jotun, Varg, Norne, Glitne (stengt ned i 2013), Åsgard A og Alvheim. Skarv (2010) ble heller ikke inkludert da denne allerede var besluttet bygd ut som produksjonsskip og ikke som for eksempel en halvt nedsenkbar innretning (semi)¹⁷ eller en sirkelformet (sylindrisk) innretning¹⁸, som begge muliggjør elektrifisering. Felt som man trodde ville stenge ned innen 2015 var heller ikke inkludert i studien.

Områdeelektrifisering

Elektrifisering av innretninger kan gjøres enkeltvis eller i større skala ved å etablere en kraftløsning for flere innretninger samtidig. I kraft fra land-studien ble områdeelektrifisering utredet for felt i Sørliche Nordsjø, Midtre Nordsjø, Nordlige Nordsjø (50 Hz og 60 Hz) og Norskehavet. Delelektrifisering av alle de fire områdene ble vurdert til å kreve i størrelsesorden 4 TWh elektrisk kraft i året.

Disse områdeelektrifiseringstiltakene omfatter delelektrifisering av en rekke felt. Kanskje vil mindre og mer konsentrerte prosjekter være lettere å gjennomføre da omfanget av tiltakene og dermed kompleksiteten reduseres.

En områdeløsning for kraft fra land er bestemt for Johan Sverdrup og tre felt på Utsirahøyden. Dette blir beskrevet i avsnittet under.

Elektrifisering av nye felt og ved erstatning av eksisterende innretninger

Valhallfeltet ble helelektrifisert høsten 2012. Den gamle Valhall-innretningen måtte erstattes fordi havbunnen, og dermed innretningene, hadde sunket så mye at innretningene ikke lenger kunne benyttes. Kraft fra land vurderes for all nye utbygginger og større ombygginger på kontinentalsokkelen. Utskifting av innretningen på Valhall kan sammenlignes med elektrifisering av en ny innretning. Kraft fra land ble for Valhall vurdert til å være bedriftsøkonomisk fordelaktig og var operatørens foretrukne kraftforsyningsløsning. Netto utslippsreduksjon for Valhall er ca. 270 000 tonn CO₂ per år i årene med høyest kraftbehov.

Den siste analysen av kraft fra land til nye felt gjelder Utsirahøyden. I Statoils forslag til program for konsekvensutredning ble helelektrifisering av Johan Sverdrups første byggetrinn presentert. Første byggetrinn starter etter planen opp i 2019. I den samme utredningen presenteres to løsninger for andre byggetrinn. Det er nå bestemt at også andre byggetrinn av Johan Sverdrup skal drives med kraft fra land.

De andre feltene på Utsirahøyden har tidligere oppstart enn Johan Sverdrup. Edvard Grieg i slutten av 2015, Ivar Aasen i slutten av 2016 og Gina Krog i 2017. Alle feltene på Utsirahøyden er planlagt helelektrifiserte når en områdeløsning foreligger. Som del av oppfølgingen av Stortingets behandling av kraft fra land til Utsirahøyden i juni 2014 har Olje- og energidepartementet nå mottatt en faglig vurdering fra Oljedirektoratet. Ifølge OED er det mulig å etablere en områdeløsning før 2022, men det vil ikke være mulig å etablere en slik løsning allerede fra produksjonsstart av Johan Sverdrup uten betydelig risiko for forsinkelse av første byggetrinn (kilde OED).

¹⁷ Halvt nedsenkbar innretning også kalt semi tilsvarende eksempelvis Gjøa

¹⁸ Sirkelformet innretning som eksempelvis Sevansløsningen som installeres på Goliatfeltet

Elektrifisering av eksisterende felt

Siste gang elektrifisering ble vurdert for en eksisterende innretning var da ConocoPhillips sendte inn PUD for videreutvikling av Ekofiskfeltet (Ekofisk Sør).

En løsning med kraft fra land via Valhall til Eldfisk II (Eldfisk 2/7 S) ble av ConocoPhillips vurdert som attraktivt og forhandlinger med Valhall-gruppen ble initiert i 2010. Ifølge ConocoPhillips var det på det tidspunktet usikkerhet knyttet til hvor mye kraft som var tilgjengelig, og en slik elektrifiseringsløsning ble derfor ikke valgt. ConocoPhillips vurderte også en delelektrifisering med kraft fra land, men konkluderte med at tiltakskostnadene ble for høye på grunn av lavt kraftbehov, og at framtidig kraftbehov på det tidspunktet var usikkert.

ConocoPhillips gjorde også en vurdering av helelektrifisering i konsekvensutredningen og vurderte at dette ville kreve vesentlige endringer i forhold til dagens drift. En slik ombygging ville medføre installasjon av betydelig med utstyr og store strukturelle ombygginger, og dermed være teknisk svært krevende. I tillegg til høye investeringskostnader ville tiltaket medføre reduserte inntekter ved produksjonsstans i en periode på 6-12 måneder.

Fra konsekvensutredningen gikk det også fram at dersom delelektrifisering hadde blitt gjennomført ville Ekofiskområdet likevel stått igjen med utslippene fra 75 prosent av energiproduksjonen. Det kan altså være store forskjeller i utslippspotensialet ved helelektrifisering sammenlignet med delelektrifisering, avhengig av utbyggingsløsning ved innretninger.

I Kraft fra land-studien pekes det på at studier er nødvendige for å klargjøre om det er teknisk mulig og sikkerhetsmessig forsvarlig å bygge hele pumpe-/kompressortog ¹⁹opp på nytt i den eksisterende modulen på innretningen (gasturbindrevne pumpe- og kompressortog på norsk sokkel er normalt montert på et felles fundament) eller om det må skje i verksted. Studien peker videre på at det må avklares om det er mulig å fjerne et pumpe-/kompressortog med direktdrevet turbin uten å fjerne overliggende og til-liggende utstyr med strukturer. Det ble også pekt på at det måtte studeres om det er mulig å installere elektromotoren gjennom lukene som er tilrettelagt for utskifting av gasturbin. Usikkerhet om omfanget av tekniske endringer som er nødvendige for å erstatte gass med elektrisitet, gjør kostnadene svært usikre og vil variere i et vidt spenn.

Med bakgrunn i stor usikkerhet rundt helelektrifisering av eksisterende felt er dette tiltaket i utgangspunktet plassert som "krevende" i tiltaksmatrisen vist i Tabell 4-7.

Kraftsamkjøring

Kraftsamkjøring mellom innretninger kan planlegges fra dag en eller gjennomføres senere. Dersom samkjøringen skjer via en samkjøringssentral på en av innretningene eller via en hub (en kraftforsyningsenhet), vil dette muliggjøre en mer effektiv styring av kraftproduksjonen på feltene.

Fordelen som ligger i samkjøring er blant annet at turbinene kan kjøres mer effektivt og at antall driftstimer på turbinene, og dermed utslippene til luft, reduseres. Implementering av et Power Management System (kraftleveranse og strømstyringssystem) vil kunne bidra til økt regularitet, raskere oppstart ved uplanlagte nedstengninger av generatorturbiner og dermed redusert fakling. Power Management System er installert på blant annet Ekofiskfeltet.

¹⁹ Turbiner som direkte driver kompressorer og pumper (for eksempel vanninjeksjonspumper)

Kraftsamkjøring gjør det også mulig å stenge ned og fjerne utstyr om bord på innretningen, eksempelvis generatorturbiner med lav virkningsgrad. Samkjøring kan også redusere forbruket av drivstoff (gass- og dieselforbruk) og behovet for vedlikehold, logistikk og bemanning. Kraftsamkjøring foregår i dag til en viss grad i Tampenområdet hvor bl.a. Gullfaks B får kraft via kabel fra Gullfaks A. Samkjøring foregår også på Osebergfeltet og Ekofiskfeltet, og den nye Gudrun-innretningen får kraft fra Sleipner A. Det nye feltet Ivar Aasen skal forsynes med kraft fra Edvard Grieg.

I forbindelse med Klimakur 2020 ble det sett på kraftsamkjøring i Tampenområdet. Tre alternative scenarier ble vurdert: 1) intern kraftsamkjøring på Statfjordfeltet, 2) kraftsamkjøring mellom Gullfaks og Snorre, og 3) kraftsamkjøring mellom Statfjord, Gullfaks og Snorre. Mulighetsstudien *Miljøeffekter av kraftsamkjøring i Tampenområdet (2009)* viser at kraftsamkjøring mellom disse feltene er mulig, og at samkjøringen gjør det mulig å redusere antall turbiner som er i drift, og dermed redusere CO₂-utslippene (Add Energy, 2009).

Reduksjonspotensialet for scenario 1) ble estimert til 130 000 tonn CO₂-ekvivalenter, scenario 2) til 224 000 tonn og scenario 3) til 470 000 tonn. Investeringskostnadene ble i Klimakur 2020 beregnet på et overordnet nivå og vurdert til å være svært usikre.

Tatt i betraktning at det finnes tilgjengelig teknologi som muliggjør kraftsamkjøring mellom eksisterende produksjonsskip og andre faste/flytende innretninger, og at flere nye innretninger er planlagt i områder med nærhet til eksisterende felt, er det behov for å se på kraftsamkjøringspotensialet på nytt, både i Nordsjøen og Norskehavet. Den korte tidsfristen vi har hatt til å besvare fase 2 av lavutslippsoppdraget, har gjort at det ikke har vært mulig å tallfeste potensialet.

4.3.5.2 Oppgradering av innretninger

Innretningslevetid er tiden en innretning, det være seg faste innretninger eller flyttbare innretninger, er designet for å være i bruk. Innretningslevetiden er oppgitt i PUD.

Der hvor nye antagelser rundt et felts levetid eller nye ressurser knyttet til eksisterende innretninger gjør at produksjonen fra en innretning kan forlenges, kan det være ønskelig for rettighetshaverne å bruke de gamle innretningene også etter at de har nådd innretningslevetiden. I så fall må det sikres at den aldrende innretningen har samme sikkerhetsnivå som en ny innretning (Ptil, 2009). Når en innretning har nådd levealderen den var designet for må det søkes om å få benytte den videre. Petroleumstilsynet stiller strenge krav til sikkerhet, som i noen tilfeller kan føre til at større oppgraderinger må gjennomføres for at fortsatt bruk av innretningen kan godkjennes.

At innretningene likevel må oppgraderes kan muliggjøre utslippsreducerende tiltak. Dette kan være alt fra større energieffektiviserende tiltak, elektrifiseringstiltak og faklingsreducerende tiltak, til installasjon av mer effektive turbiner som er riktige skalert i forhold til kraftbehovet og som kan kobles til en dampbunnsyklus²⁰ (nærmere omtalt i kapittel 4.3.5.11). Det er viktig å skille mellom ombygging eller modifikasjon på innretningene og utskifting med helt nye innretninger som vi har sett på Ekofisk og Valhall. Plassbegrensninger kan være en viktig faktor på eksisterende innretninger ved en eventuell kraftforsyning fra land.

²⁰ Dampbunnsyklus eller dampkraft

Det er i dag krav om at kraft fra land skal vurderes ved større ombygginger av felt. Andre utslippsreducerende tiltak som blant annet faklingstiltak, energieffektiviseringstiltak og tiltak som reduserer kaldventilering og diffuse utslipp fra prosessen kan også vurderes som en del av en slik prosess. Større ombygginger vil kunne endre forutsetningene og barrierene knyttet til tidligere kartlagte tiltak, og med det muligheten til å gjennomføre disse. Ombygging vil for eksempel muliggjøre tiltak som krever stans i produksjonen, dersom produksjonen uansett må stanses for å gjennomføre nødvendige oppgraderinger.

4.3.5.3 Kan vi tenke større?

I kraft fra land-studien fra 2008 (OD, NVE, PTIL og SFT, 2008) så man på muligheten for å elektrifisere Midtre Nordsjø, et område som inkluderer Ringhorne, Grane, Sleipner T og Sleipner A. I dette området kommer nå Johan Sverdrup, Edvard Grieg, Ivar Aasen og Gina Krog som ligger på Utsirahøyden. Dersom feltene forsynes med kraft fra en hub (en kraftforsyningsenhet), kan dette også åpne for muligheten for å kunne inkludere kraftforsyning til flere av feltene i Midtre Nordsjø. Eksempelvis er det mulig å tenke seg at en løsning inkluderer Sleipner dersom det er kraft tilgjengelig fra land.

I kraft fra land-studien presenteres også to mulige områdeelektrifiseringsløsninger for Nordlige Nordsjø, en med 50 Hz kraftoverføring og en med 60 Hz. I området med 50 Hz har vi feltene Visund, Kvitebjørn, Oseberg Øst, Oseberg Sør og Troll C. Flere av disse feltene har gamle innretninger hvor det er forventet fortsatt lang produksjonstid. For eksempel antas det i dag at Kvitebjørn vil produsere fram til 2045.

At produksjonen på en innretning må stenges ned kan muliggjøre at innretningen kan benyttes som en distribusjonsinnretning (hub) for forsyning av kraft fra land til andre innretninger i et område.

4.3.5.4 Elektrifisering av Hammerfest LNG/Snøhvitfeltet

Utslipptet fra Hammerfest LNG på Melkøya utgjorde 975 081 tonn CO₂ i 2012. Utslipptet er i hovedsak knyttet til kraftgenerering og fakling. Dagens energianlegg omfatter fem generatorturbiner med varmegjenvinningsenheter. Samlet installert effekt er 230 MW kraft og 197 MW varme. Kraftbehovet er på ca. 1,9 TWh/år.

I Klimakur ble det for Melkøya utredet tre tiltak; Utfasing av en turbin (Tog I²¹), Utfasing av to turbiner (Tog I) og Elektrifisering av Tog II²². Elektrifisering av Tog II ble utredet selv om ressursgrunnlaget ennå ikke var påvist for Tog II. Dette er situasjonen også i dag.

I 2011 utredet Statoil helelektrifisering av Tog I etter pålegg fra Miljødirektoratet. Statoil konkluderte med at de mest lovende CO₂-reducerende tiltakene for Hammerfest LNG er:

- **Alternativ 1:** Erstatte eksisterende gassturbingeneratorpakker med kraft fra linjenettet og indirekte oppvarming av hetolje i gassfyrte kjeler (hetoljekjel).
- **Alternativ 2:** Erstatte eksisterende gassturbingeneratorpakker med kraft fra linjenettet og indirekte oppvarming av hetolje med damp produsert i kjel fyrt med biomasse.

Statoil utredet også bruk av elektrokjel, som ble konkludert til å være dyrere enn bruk av gassfyrte kjel og dampkjel fyrt med biomasse.

²¹ Tog I er det første prosessanlegget på Melkøya

²² Tog II framtidig prosessanlegg

Tiltakene forutsetter at planlagte nettførsterkninger til Finnmark bygges ut i tråd med Statnetts planer, det vil si at de planlagte nye 420 kV kraftlinjene Ofoten-Balsfjord og Balsfjord-Skaidi blir realisert og at tilstrekkelig kraft er tilgjengelig i Hammerfest. Ifølge Statnetts nettutviklingsplan (Statnett, 2013) for 2013 er kraftlinja Ofoten-Balsfjord klar for bygging i 2014 og skal etter planen være ferdig i 2017.

På grunn av usikkerheten knyttet til tidspunktet for realisering av de siste fasene av Tog I og usikkerheten i krafttilgjengelighet, ble reduksjonspotensialet ved å utfase en turbin i Tog I i Miljødirektoratets rapport *Faglig grunnlag for videreutvikling av den nasjonale og internasjonale klimapolitikken* (også omtalt som Fase1-rapporten) vurdert til å ligge i området 100 000 til 170 000 tonn CO₂-ekvivalenter i året, og hvor det laveste anslaget gjelder installering av dampbunnsyklus (elproduksjon fra eksosvarme).

Tabell 4-5 Reduksjonspotensial og tiltakskostnader fram mot 2030 for Hammerfest LNG.

Tiltak	Årlig reduksjon [tonn CO ₂ -ekv.]	Kilde
Utfasing av en turbin - Tog I	170 000	Klimakur
Utfasing av to turbiner - Tog I	290 000	Klimakur
Full elektrifisering av Tog I og bruk av gassfyrt kjel	618 000	Statoils utredning av 30. mai 2011
Full elektrifisering av Tog I og bruk av dampkjel fyrt med biomasse	858 000	Statoils utredning av 30. mai 2011
Utfasing av en turbin Tog I eller andre tiltak (eksempelvis dampbunnsyklus)	100 000 - 170 000	Fase1-rapporten

4.3.5.5 Elektrifisering av gassprosesseringsanlegget på Kårstø

Utslipet fra gassprosesseringsanlegget på Kårstø utgjorde 1 080 477 tonn CO₂ i 2012. Utslipet er i hovedsak knyttet til fem kompressorturbiner med varmegjenvinning (dampkjeler i kombinert drift med gassturbiner), en generatorturbin med varmegjenvinning og to enkeltstående gassfyrte dampkjeler. Anlegget på Kårstø har et høyt varmebehov.

I Klimakur 2020 ble elektrifisering utredet for Kårstø. Elektrifisering vil medføre at importbehovet fra nettet vil øke med om lag 140 til 200 MW, og at bortfall av varme (tapt dampproduksjon) erstattes med nye gassfyrte dampkjeler. Reduksjonspotensialet knyttet til elektrifisering ble vurdert til om lag 30 prosent, da om lag 60 prosent av reduksjonspotensialet faller bort som følge av økte CO₂-utslipp fra nye gassfyrte kjeler. Årlig reduksjonspotensial ble estimert til 460 000 tonn (Klimakur 2020, 2010).

4.3.5.6 Energieffektivisering

Energibehovet på norsk sokkel dekkes i hovedsak av gassturbiner som driver generatorer, kompressorer og pumper. Virkningsgraden til turbinene (elektrisk virkningsgrad) sier hvor mye av varmeenergien i brenselet (gass eller diesel) som omgjøres til elektrisk kraft. Virkningsgraden avhenger også av lastgrad; en turbin som går på dellast vil ha lavere virkningsgrad enn ved full last.

Gjennomsnittlig el-virkningsgrad på norsk sokkel ligger på ca. 33 prosent. Ved å installere varmegjenvinningsenheter (WHRU - Waste Heat Recovery Unit) kan varmen i eksosgassen utnyttes til oppvarming av blant annet boligkvarter og i prosessen. Varmegjenvinning fra eksosgassen dekker i dag om lag 90 prosent av varmebehovet på sokkelen. Eksosgass kan også benyttes til å produsere damp som igjen kan drive en dampturbin og produsere elektrisk kraft (det vil si kombikraftverk). Kombikraftverk er installert på Snorre, Oseberg og Eldfisk. Offshore kombikraftverk kan gi en el-virkningsgrad på eksempelvis 45,8 prosent, som er tilfellet for Snorre.

Hammerfest LNG på Melkøya har, som mange av innretningene på sokkelen, turbiner med varmegjenvinningsenhet. Totalvirkningsgraden til energianlegget (kraft og varme) på Melkøya er i størrelsesorden 70 prosent. Gassprosesseringsanlegget på Kårstø har turbiner som står i kombinert drift med dampkjeler og i tillegg enkeltstående dampkjeler. Totalvirkningsgraden på Kårstø (alle enheter inkludert) er på om lag 80 prosent. Gassbehandlingsanleggene Kollsnes og Ormen Lange er begge elektrifisert, men varmebehovet dekkes av gassfyrt hetoljesystem, hvor virkningsgraden ligger på om lag 90-95 prosent avhengig av last.

I virksomhetenes tillatelser i medhold av forurensningsloven, er det fastsatt vilkår om etablering av et system for energiledelse for kontinuerlig, systematisk og målrettet vurdering av tiltak som kan iverksettes for å oppnå en mest mulig energieffektiv produksjon og drift. Et slikt system er en nødvendig forutsetning for å tilfredsstille krav om å drive i samsvar med BAT. Systemet for energiledelse skal følge prinsippene og metodene angitt i norsk standard for energiledelse, jf. NS 50001:2011.

Sektoren har også mulighet til å søke om støtte til energieffektivisering, energiomstilling og teknologiutvikling gjennom tilskuddsordninger fra Enova. Sektoren, både offshore og anleggene på land, har i liten grad benyttet seg av denne muligheten. Dette gjelder særlig muligheten for støtte til etablering av energiledelse. Enova gir imidlertid blant annet støtte til Statoils prosjekt for energiledelse på Osebergfeltet.

I fase 1-rapporten (Miljødirektoratet, 2014b) signaliserte Miljødirektoratet at det var behov for å gjennomføre en større kartlegging av energieffektivisering innen sektoren for å få oversikt over potensialet på kort og litt lengre sikt. Miljødirektoratet sendte derfor ut en forespørsel til alle operatørene på norsk sokkel og av landanleggene. Grunnet den korte tiden tilgjengelig har det ikke vært mulig for Miljødirektoratet å gjennomgå all innsendt dokumentasjon. Potensialet for energieffektivisering fram til 2030 er derfor basert på en grov antagelse om at bransjen vil greie kutt tilsvarende 1 million tonn CO₂-ekvivalenter mellom 2020 og 2030. Dette tilsvarer målet bransjen i dag har fram til 2020. Potensialet er delt mellom enklere og mer omfattende tiltak i tiltaksmatrisen vist i Tabell 4-9.

Miljødirektoratet vil foreta en grundigere vurdering av potensialet fram mot februar 2015. Det vil også være behov for innhenting av oppdaterte vurderinger fra de av feltene som per september 2014 ikke har kunnet framvise tiltaksvurderinger blant annet som følge av manglende implementering eller oppfølging av energiledelse.

4.3.5.7 Tiltak som kan redusere faking

Fakkelsystemet er en del av innretningenes sikkerhetssystem, og benyttes under planlagte operasjoner i forbindelse med sikker oppstart/nedkjøring og trykkavlastning for vedlikehold av prosessutstyr. Faking benyttes også i forbindelse med oppliving/oppstart av brønner med lavt trykk som ellers er vanskelige å rute inn i prosessanlegget. Fakkelsystemet benyttes også i noen tilfeller

til å håndtere giftige eller korrosive gasser, og andre brennbare gasser det av ulike årsaker ikke anses hensiktsmessig å benytte.

Hovedandelen av faklingen skyldes opp- og nedkjøring av drift som følge av planlagte eller uplanlagte nedstengninger. Mesteparten av gjennomførte og evaluerte tiltak går på å redusere denne type fakling. Størsteparten av faklingen offshore skjer på noen få store felt.

Forurensende utslipp til luft fra fakling faller innenfor virkeområdet til forurensningsloven. For offshore gjelder i tillegg petroleumsloven, som oppstiller et generelt forbud mot fakling som ikke skjer av sikkerhetsmessige årsaker: "Brenning av petroleum utover det som er nødvendig av sikkerhetsmessige grunner for normal drift er ikke tillatt med mindre Olje- og energidepartementet godkjenner dette.", jf. petroleumsloven § 4.4. Det er heller ikke tillatt å ha fakling som eneste avsetningsmulighet for gass. I tillegg gjelder forurensningslovens bestemmelser om implementering av BAT og energioptimal produksjon.

Operatørselskapene søker om tillatelse til brenning av gass over fakkelsystemet i forbindelse med årlig søknad om produksjonstillatelse. OED gir tillatelsene etter anbefaling fra OD. Tillatelsen til brenning reguleres kvartalsvis som en øvre grense for gjennomsnittlig brenning per dag. Dersom en operatør opplever at ulike hendelser som medfører økt fakling, fører til at den kvartalsvise grense kan overskrides, må det søkes til OED om endret tillatelse til brenning. Faklingstillatelse i forbindelse med årlig produksjonssøknad gis til felt med prosessanlegg og fakkell offshore.

I 2013 gjennomførte Carbon Limits, på bestilling fra Miljødirektoratet, en analyse av potensial for redusert fakling (Carbon Limits, 2013). I følge Carbon Limits skyldes 80 prosent av faklingen offshore uforutsette/ikke-planlagte hendelser og driftsforstyrrelser (det vil si ikke-kontinuerlig fakling), hvorav ca. 30 prosent av denne faklingen skyldes trykkavlastning i forbindelse med vedlikehold og opp/nedkjøring av prosessanlegg og kompressorer. Den kontinuerlige faklingen på sokkelen utgjør ca. 20 prosent og er i hovedsak knyttet til et begrenset antall kilder (pilotgass, spylegass/dekk-gass, avgassing fra produsertvannsystemet og glykolregenerering). For landanleggene er anslaget henholdsvis 95 prosent for ikke-kontinuerlige kilder og 5 prosent for kontinuerlige kilder (pilotgass og spylegass).

Det er teknisk mulig å redusere kontinuerlig fakling ved ombygging til slukkede fakler. Det kan også være et potensial for å redusere ikke-kontinuerlig fakling ved å forbedre prosess-tekniske forhold og regularitet. For å redusere utslipp fra fakling må i første omgang situasjonene som skaper forstyrrelsene forhindres. Videre kan gass som rutes til fakkell gjenvinnes ved at gassen tilbakeføres til prosessen og på den måten unngås fakling. Fakkellgassgjenvinning (lukket fakkell) er implementert på flere av de nye innretningene, og er ansett som BAT. Av landanleggene er det kun Ormen Lange som har fakkellgassgjenvinning. Utskifting av fakkeltipp eller fakkelsystem vil også redusere utslipp fra fakling.

Selskapene som opererer på norsk sokkel og på land har etablert overordnede målsetninger om å redusere energibruk, og har utarbeidet prosedyrer for drift og vedlikehold som begrenser fakling. Fakling synes nå i større grad enn tidligere å inngå som en integrert del i virksomhetenes arbeid med energiledelse, og felt- og anleggsspesifikke faklingsstrategier er under utarbeidelse og implementering flere steder. Til tross for dette viser studien gjennomført av Carbon Limits at det er et potensial for å redusere faklingen. Potensialet knytter seg bl.a. til økt regularitet i prosessen, forbedring av drifts- og vedlikeholdsprosedyrer og strategier for håndtering av ikke-planlagte hendelser.

Flertallet av virksomhetene registrerer og systematiserer i liten grad faklingshendelser og informasjon om årsaker til fakling. Dette representerer en mulig barriere for effektiv identifikasjon, analyse og prioritering av tiltaksmuligheter knyttet til fakling. En systematisk registrering av kontinuerlig fakling og faklingshendelser og årsaker til faklingshendelsene, vil bidra til økt kunnskap og oppmerksomhet om reduksjonspotensial. Det vil også muliggjøre prioriteringer av faklingstiltak i forhold til andre typer tiltak. Dette kan følges opp gjennom tilsyn og krav i tillatelser i medhold av forurensningsloven.

Mengden gass som fakles er i stor grad påvirket av innretningens prosedyrer og strategier for når og hvordan produksjonen skal reduseres eller stenges ned. Oppstart av prosessanlegg og brønner etter en eventuell nedstengning vil kunne resultere i en ikke ubetydelig fakling. I noen tilfeller vil dette også kreve økt bruk av energi (f.eks. gassløft) som medfører utslipp til luft. Nedstengninger har også store økonomiske konsekvenser forbundet med tap av produksjon. Faklingsvolumene som anses som akseptabelt ved ikke-planlagte hendelser eller driftsforstyrrelser, er nedfelt i virksomhetenes faklingsstrategier. Installasjonsspesifikke forhold vil også ha innvirkning på hva som er en optimal strategi i slike tilfeller.

Virksomhetenes prosedyrer og faklingsstrategier bør derfor følges opp. Dette kan gjennomføres som en integrert del av oppfølgingen av virksomhetenes planer for energiledelse og implementering av faklingsstrategier med hjemmel i forurensningsloven.

En del tiltak vil ikke bli gjennomført ved eldre innretninger og anlegg på land på grunn av tekniske begrensninger eller høy tiltakskostnad. Flere av de gamle feltene på norsk sokkel har planer om levetidsforlengelser. Større modifikasjoner og oppgraderinger vil kunne endre forutsetningene og med det gjøre det mulig å gjennomføre tiltak som for eksempel installasjon av fakkeltgassgjenvinning og nytt fakkelsystem

Tabell 4-6 De største fakkeltutslippene i petroleumssektoren i 2012.

Felt/landanlegg	Utslipp i 2012 [tonn CO ₂ -ekv.]
Hammerfest LNG	214 351
Åsgard	112 320
Gullfaks	111 571
Statfjord	93 796
Oseberg	79 081
Snorre	62 929
Heidrun	58 337
Ekofiskområdet	51 975

Tabell 4-6 over viser felt og landanlegg som hadde størst fakkeltgassutslipp i 2012. Det var 36 felt og landanlegg som hadde utslipp fra fakkelt i sektoren i 2012. Gjennomsnittsutslippet fra de som faklet var 34 883 tonn CO₂. Samtidig faklet de 20 som faklet minst tilsammen mindre enn Hammerfest LNG alene. De som fakler mest fakler altså veldig mye mer enn de som fakler minst, og det er derfor svært viktig at de med størst utslipp gjennomfører tiltak.

4.3.5.8 Metanutslipp

Petroleumsvirksomheten medfører utslipp av metan fra en rekke utslippskilder. Den største kilden er kaldventilering og diffuse utslipp fra prosessenheter og -utstyr. Utslippenes størrelse avhenger av

en rekke forhold, blant annet aktivitet og operasjonelle forhold, type prosessutstyr, om utstyret er nytt eller gammelt (herunder pumper, flenser og ventiler), antall kaldventilerings- og lekkasjepunkter, vedlikeholdsrutiner og kaldventilerings-/faklingsstrategi, og av hvilke teknikker som er implementert for å redusere utslippene. Basert på dagens kunnskap om utslippenes størrelse utgjør metanutslippet fra sektoren ca. 1,1 prosent av det totale norske klimagassutslippet. Utslippene som rapporteres fra norsk sokkel er imidlertid beheftet med stor usikkerhet.

Utslippene beregnes med utgangspunkt i gamle utslippsfaktorer og metoder som for flere av punktkildene er vurdert til å være ikke-relevant. Miljødirektoratet setter derfor nå i gang et prosjekt for å bedre kunnskapsgrunnlaget om direkte utslipp²³ av metan fra offshoreinnretninger på norsk sokkel. Prosjektet skal kartlegge kilder og implementerte tiltak. Utslippsfaktorer og beregningsmetoder skal også evalueres for å få større klarhet i utslippenes størrelse og i tillegg belyse tiltaksmuligheter og reduksjonspotensialer. Prosjektet, som vil pågå i 2014 og 2015, vil gjøre det mulig å konkretisere tiltaksmuligheter og reduksjonspotensialer på det enkelte felt. Utslippsgrensene som fastsattes per i dag, er basert på dagens kunnskap om utslippenes størrelse.

Situasjonen for landanleggene er ikke den samme som for offshore, da utslippsgrensene som fastsettes er basert på reelle målinger av utslippenes størrelse (det vil si målekampanjer med DIAL (Differential Absorption LIDAR)). Da tiltaksmuligheter og reduksjonspotensialer vil være anleggsspesifikke er det behov for å gjennomføre en nærmere vurdering ved det enkelte landanlegg. Landanleggene er omfattet av BAT Reference Document (BREF) for *Refining of mineral oil and gas*. Denne er nå revidert. Tiltaksvurderinger kan gjennomføres som del av en oppdatert BAT-vurdering.

4.3.5.9 Utslipp fra flyttbare innretninger

Med flyttbare innretninger menes i petroleumssammenheng floteller, borerigger og brønnintervensjonsskip. Disse benyttes bl.a. til aktiviteter som leteboring, produksjonsboring, overhaling og stenging av havbunnsbrønner.

CO₂-utslippene fra flyttbare innretninger utgjorde 696 266 tonn CO₂-ekvivalenter i 2012. Utslippene er i hovedsak knyttet til energiproduksjon ved forbrenning av diesel og brenning av olje og gass over brennerbom. Flyttbare innretninger har normalt ikke tilgang til gass eller elektrisk kraft levert via kabel.

Flyttbare innretninger som skal kunne operere i mer værharde strøk og på større dyp er større og mer energikrevende. Under operasjon, spesielt på store havdyp hvor oppankring er krevende, holdes innretningene i posisjon ved hjelp av dynamisk posisjonering. Dette øker kraftbehovet, og dermed CO₂-utslippene, sammenlignet med innretninger som ligger for anker.

Flyttbare innretninger har dieselelektrisk framdriftsanlegg med hovedgeneratorer i form av fire til åtte dieselmotorer. Disse motorene står for strømproduksjon til framdriftsanlegget, boring og annet strømforbruk. For innretninger som ligger i posisjon med anker vil det typisk være behov for fire motorer med effekt på til sammen 8-10 MW. For innretninger som ligger på dynamisk posisjonering, vil det være behov for seks til åtte dieselmotorer på til sammen ca. 40 MW. Antall motorer i drift avhenger av strømbehovet. Krav til sikkerhet medfører at motorene ikke alltid kan kjøres optimalt, på grunn av minimumskrav til antall motorer som skal være i drift.

²³ kaldventilering og diffuse utslipp

Når en flyttbar innretning opererer på norsk sokkel er den underlagt norsk petroleumsregelverk. Når den er under transport, gjelder sjøfartsregelverket: Forskrift om miljømessig sikkerhet for skip og flyttbare innretninger.

Tiltak som kan redusere utslippene fra flyttbare innretninger er tilgang på kraft via kabel fra nærliggende felt som får kraft fra land. Dette vil kunne være en mulighet på Martin Linge jf. konsekvensutredningen. Andre løsninger er energieffektiviseringstiltak for å oppnå en mer energieffektiv kraftproduksjon og optimalisere bore- og vedlikeholdsoperasjoner. I tillatelser til boreaktivitet stilles det krav om etablering av energiledelse, tilsvarende faste innretninger. Noen av tiltakene som beskrives i avsnitt *Innenriks sjøfart og fiske* i kapittel 4.4.4 kan også være aktuelle for flyttbare innretninger, blant annet landstrøm for rigger som ligger til kai, bruk av batterier (kombinasjon av diesel og batteri eller en helelektrisk løsning) og biodrivstoffinnblanding.

4.3.5.10 Oppsummering av tiltak

Tabell 4-7, Tabell 4-8 og Tabell 4-9 under oppsummerer tiltakene beskrevet over sortert etter estimert tiltakskostnad og gjennomførbarhet. Som redegjort for i kapittel 4.1 innebærer "gjennomførbarhet" en vurdering både av hvor teknisk krevende tiltaket er og andre barrierer. Forutsetningene for hvert tiltak er beskrevet i kortform under tabellene. Tabell 4-7 oppsummerer elektrifiseringstiltak offshore, Tabell 4-8 oppsummerer spesifikke tiltak for landanleggene og Tabell 4-9 oppsummerer de resterende tiltakene.

Utslippsreduksjonene for fakling presentert i Tabell 4-9 er grove antagelser med bakgrunn i dagens utslippssituasjon. Det er ikke blitt gjennomført kost-nytteanalyse av tiltakene verken av Miljødirektoratet eller OD.

Områdeelektrifiseringstiltak og andre tiltak som krever koordinerte utbyggingsløsninger offshore kan være utfordrende å gjennomføre fordi man må finne gode tekniske løsninger, avklare eierskapsforhold og inngå kommersielle avtaler mellom ulike lisenser på sokkelen. Vi har likevel valgt å plassere disse tiltakene i kategorien "middels krevende" da disse tiltakene ikke krever utvikling av ny teknologi og lange forsknings- og utviklingsløp.

Vi har også valgt å legge en del av energieffektiviseringstiltakene i kategorien "middels krevende". Disse tiltakene er ikke spesielt teknisk krevende i forhold til tiltak i andre sektorer, men vil på grunn av andre barrierer kreve virkemidler i tillegg til CO₂-prising.

I oppsummeringen av elektrifiseringstiltakene offshore har vi for nye innretninger, for produksjonsskip og der hvor det uansett skal gjennomføres en oppgradering, presentert tiltakene som "elektrifisering" uten å gjøre et klart skille mellom hel- og delelektrifisering. Dette er med bakgrunn i feltspesifikke forhold og store variasjoner mellom innretninger.

Generelt vil også de spesifikke forholdene ved en innretning til slutt være avgjørende for hvor teknisk krevende og dyrt et tiltak er. I tabellene under har vi for eksempel plassert energieffektiviseringstiltak i både den forholdsvis enkle kategorien og med lav kostnad, men også som middels krevende og med en høyere kostnad. Det vil også være energieffektiviseringstiltak som er forholdsvis enkle, men dyrere, eller billige, men noe mer krevende. Vi har her valgt å vise spennet, og dermed ikke plassert tiltaket for et hvert tilfelle hos en hver innretning.

Oppsummering av elektrifiseringstiltak

Tabell 4-7 Oppsummering av elektrifiseringstiltak offshore 2030

Tiltak	Gjennomførbarhet		
	Kostnad	Forholdsvis enkelt	Middels krevende
Lav < 500 kr/tonn		1. Elektrifisering av nye innretninger, eller erstatning av eksisterende innretninger, med korte avstander til land. (Opp til ca. 80 % av utslipp fra nye innretninger, 0,04-1 mill. tonn CO ₂ -ekv. for eksisterende innretninger avhengig av hvilken innretning som erstattes)	
Medium 500–1500 kr/tonn			2. Elektrifisering av nye innretninger, eller erstatning av eksisterende innretninger hvor avstanden til land er lenger. (Opp til ca. 80 % av utslipp fra nye innretninger, 0,04-1 mill. tonn CO ₂ -ekv. for eksisterende innretninger avhengig av hvilken innretning som erstattes)
			3. Delelektrifisering av en eksisterende innretning hvor det uansett skal gjennomføres en omfattende oppgradering. (0,04-1 mill. tonn CO ₂ -ekv. avhengig av innretning)
Høy >1500 kr/tonn			4. Delelektrifisering av en eksisterende innretning hvor det uansett skal gjennomføres en omfattende oppgradering. (0,4-1 mill. tonn CO ₂ -ekv. avhengig av innretning)
			5. Områdeelektrifisering ved å inkludere delelektrifisering av flere innretninger i Utsiraløsningen. (0,08-0,18 mill. tonn CO ₂ -ekv.)
			6. Områdeelektrifisering (Delelektrifisering av områder som Sørlige Nordsjø, Nordlige Nordsjø (50 og 60 Hz) og Norskehavet.) (0,34 - 2,4 mill. tonn CO ₂ -ekv.)
			7. Delelektrifisere produksjonsskip fra en hub eller ved kraftsamkjøring. (0,07 mill. tonn CO ₂ -ekv.)
			8. Delelektrifisering av en eksisterende innretning. (0,04-1 mill. tonn CO ₂ -ekv. avhengig av innretning)
			9. Helelektrifisering av en eksisterende innretning. (0,04-1 mill. tonn CO ₂ -ekv. avhengig av innretning)

Overlapp:

Hel- og delelektrifisering av samme innretning vil være overlappende. Dersom en innretning er inkludert i et områdeelektrifiseringstiltak er tiltakene overlappende.

Forutsetninger:

1. Elektrifisering av nye innretninger har for noen utbygginger vist seg å være den beste kraftløsningen. Det samme gjelder for eksisterende felt, hvor en innretning i sin helhet har blitt erstattet med ny, som for eksempel på Valhallfeltet. Utslipp fra energiproduksjon offshore utgjør i dag 80 prosent av utslippene fra sektoren. Vi antar derfor at en helelektrifisering av nye felt fra dag en vil kunne resultere i at en unngår opp mot 80 prosent av utslippene fra nye innretninger. En delelektrifisering vil utgjøre en mindre andel av utslippene. Ved erstatning av en eksisterende innretning vil en kunne oppnå utslippskutt fra omtrent 40 000 til 1 000 000 tonn CO₂-ekvivalenter avhengig av hvilken innretning det er snakk om.
2. Elektrifisering av nye innretninger kan være mer krevende for noen enn for andre, og tiltaket vil da også være dyrere. En hoveddriver er innretningens avstand fra land. Utslipp fra energiproduksjon offshore utgjør i dag 80 prosent av utslippene fra sektoren. Vi antar derfor at en helelektrifisering av nye felt fra dag en vil kunne resultere i at en unngår opp mot 80 prosent av utslippene fra nye innretninger. En delelektrifisering vil utgjøre en mindre andel av utslippene. Ved erstatning av en eksisterende innretning vil en kunne oppnå utslippskutt fra omtrent 40 000 til 1 000 000 tonn CO₂-ekvivalenter avhengig av hvilken innretning det er snakk om.
3. Kraft fra land skal vurderes ved større modifikasjoner på eksisterende innretninger. Vi har plassert tiltaket som middels krevende da det vil være en omfattende prosess rundt gjennomføring. Potensialet strekker seg fra ca. 40 000 til 1 000 000, avhengig av hvilket felt det er snakk om. Det lavere sjiktet tilsvarer omtrent brenngassutslippet fra Kvitebjørn i dag og det øvre tilsvarende for Oseberg. Noen innretninger, som på Osebergfeltet, har utslipp som nesten bare er knyttet til kraftproduksjon (generatorer/turbiner).
4. Kraft fra land skal vurderes ved større modifikasjoner på eksisterende innretninger. For noen innretninger vil dette være et dyrere tiltak enn for andre. Vi har derfor valgt å plassere tiltaket i både medium og høy kostnadskategori.
5. Potensialet ved å inkludere delelektrifisering av en eller flere av innretningene som er lokalisert i nærheten av Utsiraløsningen strekker seg fra 80 000 til 180 000 tonn.
6. Delelektrifisering av områdene Sørlege Nordsjø, Nordlige Nordsjø (50 og 60 Hz) og Norskehavet ble presentert i Klimakur 2020. I disse områdene forventes noen av innretningene å være i produksjon også i 2050. Innretninger som i dag har en forventet levetid kortere enn 2025 er ikke inkludert i potensialet, som strekker seg fra 0,34 - 2,4 mill. tonn.
7. For å finne potensialet her har vi tatt utgangspunkt i utslippet fra bruk av brenngass på Åsgard A som har levetid til 2030. For Åsgard A er ca. 20 prosent av utslippet knyttet til generatorer/turbiner. Prosentsatsen er basert på en grov beregning ut fra bruksområdet til turbinene på innretningen, lastgrad og driftstimer.
8. Potensialet ved å delelektrifisere en eksisterende innretning strekker seg fra ca. 40 000 til 1 000 000, avhengig av hvilket felt det er snakk om. Det lavere sjiktet tilsvarer omtrentlig brenngassutslippet fra Kvitebjørn i dag og det øvre tilsvarende for Oseberg. Noen innretninger, som på Osebergfeltet, har utslipp som nesten bare er knyttet til kraftproduksjon (generatorer/turbiner). Kraft fra land skal vurderes ved større modifikasjoner på eksisterende innretninger. For noen innretninger vil dette være et dyrere tiltak enn for andre. Vi har derfor valgt å plassere tiltaket i både medium og høy kostnadskategori.
9. Elektrifisering av eksisterende innretninger, og da spesielt helelektrifisering, antas å være krevende og dyrt. Potensialet er basert på elektrifisering av et felt og skalert mellom feltene som i dag har lavest og høyest utslipp fra energiproduksjon.

Oppsummering av tiltak for landanleggene

Tabell 4-8 Oppsummering av spesifikke tiltak på landanleggene.

Tabell 4-8 Oppsummering av spesielle tiltak på landanleggene.				
Tiltak	Gjennomførbarhet			
Kostnad	Forholdsvis enkelt	Middels krevende	Krevende	
Lav <500 kr/tonn		10. Installere dampbunnsyklus på en eller flere turbiner på Hammerfest LNG (0,1-0,17 mill. tonn CO ₂ -ekv.)		
Medium 500–1500 kr/tonn		11. Utfasing av en turbin på tog 1, Hammerfest LNG (0,17 mill. tonn CO ₂ -ekv.) 12. Bytte til el-kjel på Sture (0,075 mill. tonn CO ₂ -ekv.)		
Høy >1500 kr/tonn		13. Full elektrifisering av tog 1 og bruk av gassfyrt kjel, Hammerfest (0,62 mill. tonn CO ₂ -ekv.) 14. Full elektrifisering av tog 1 og bruk av biokjel, Hammerfest (0,86 mill. tonn CO ₂ -ekv.) 15. Elektrifisering av Kårstø (0,46 mill. tonn CO ₂ -ekv.)		

Overlapp:

Alle tiltakene på Hammerfest LNG overlapper.

Forutsetninger:

10. Tiltaket er plassert som middels krevende da bruk av dampbunnsyklus er ny teknologi.
Potensialet er sett i forhold til tiltak om utfasing av turbin.
11. Tiltaket er hentet fra Klimakur 2020
12. Tiltaket er hentet fra Klimakur 2020
13. Tiltaket er plassert som middels krevende, da dette er kjent teknologi.
14. Tiltaket er hentet fra Klimakur 2020
15. Tiltaket er hentet fra Klimakur 2020

Oppsummering av resterende tiltak

Tabell 4-9 Oppsummering av de resterende tiltakene.

Tabell 1: Oppsummering av de vurderedes tiltakene			
Tiltak	Gjennomførbarhet		
Kostnad	Forholdsvis enkelt	Middels krevende	Krevende
Lav < 500 kr/tonn	16. Energieffektiviserings- tiltak (0,5 mill. tonn CO ₂ -ekv.) 17. Faklingstiltak (0,15 mill. tonn CO ₂ -ekv.)		
Medium 500–1500 kr/tonn	18. Faklingstiltak (0,1 mill. tonn CO ₂ -ekv.)	19. Mer omfattende energieffektiviseringstiltak (0,5 mill. tonn CO ₂ -ekv.)	
Høy >1500 kr/tonn			20. CCS på eksosutslipp offshore 21. CCS på landanleggene

Overlapp:

Ingen av tiltakene i tabellen overlapper med hverandre, men energieffektiviseringstiltakene og CCS-tiltakene kan delvis overlappe med elektrifiseringstiltakene i de to foregående tabellene.

Forutsetninger:

16. Offshore har liggende inne energieffektiviseringstiltak tilsvarende en reduksjon på 1 mill. tonn frem til 2020 (fra 2008) i referansebanen. Det er antatt at man fra 2020 til 2030 i alle fall vil kunne ta en like stor reduksjon. Den nye millonen er fordelt likt mellom dette og tiltak 19. Dette er en grov antagelse.
17. Flere av faklingstiltakene er billige og tilgjengelige. Dette gjelder bl.a. optimalisering av drift. Utslippsreduksjonen er en grov antagelse.
18. Eksempel på faklingstiltak som kan være mer kostnadskrevende er fakkeltgassgjenvinning. Utslippsreduksjonen er en grov antagelse.
19. Offshore har liggende inne energieffektiviseringstiltak tilsvarende 1 mill. tonn fram til 2020 (fra 2008) i referansebanen. Det er antatt at man fra 2020 til 2030 i alle fall vil kunne ta en like stor reduksjon. Den nye millonen er fordelt likt mellom dette og tiltak 16. Dette er en grov antagelse. De mer omfattende energieffektiviseringstiltakene inkluderer kraftsamkjøring, bytte av turbin, turbinoptimaliseringstiltak, kombikraft og utvidet varmegjenvinning.
20. Tiltak og tiltakskostnad er hentet fra Klimakur 2020
21. CCS på eksosutslipp offshore er antatt å være mer krevende enn elektrifisering.
22. CCS på landanleggene er antatt å være krevende.

4.3.6 Mulige framtidige teknologier

Dette kapittelet gir en kort oversikt over mulige framtidige teknologier og løsninger.

For nærmere gjennomgang av hva som er mulig å få til av utslippsreduksjoner i petroleumssektoren med ny teknologi, settes det nå i gang et prosjekt som skal se på teknologiutvikling og reduksjoner av klimagassutslipp fram mot 2030 og 2050. Dette omfatter bl.a. konseptvalg og infrastrukturløsninger, designløsninger på plattformer og landanlegg, kraftforsyningsløsninger, boring og brønn.

Offshore bunnsykler

Dampbaserte bunnsykler er veletablert og moden teknologi for en rekke landbaserte bruksområder som for eksempel kombikraftverk. Ifølge Sintef Energi (Sintef Energi, 2014) viste forskningsprosjektet EFFORT (2011-2014) at implementering av slike bunnsykler på gassturbiner på norsk sokkel i dag kunne redusert CO₂-utslippene fra disse med opptil 25 prosent, og utgjør dermed et betydelig potensial i nasjonal sammenheng. Kun tre av rundt 200 gassturbiner på norsk sokkel har i dag en damp-bunnsyklus. Dette skyldes en rekke faktorer, men av de tekniske barrierene kan vekt, plassbehov og driftssikkerhet nevnes. Forskningsprosjektet COMPACTS (2014-2017) fokuserer på å utvikle mer kompakte systemer med lavere vekt og bedre driftssikkerhet.

Sintef Energi opplyser videre at bunnsykler med alternative medier enn damp er en annen tilnærming til økt utbredelse av bunnsykler for gassturbiner offshore. Systemer som benytter CO₂ som arbeidsmedium er under utvikling i industri og forskningsmiljø både i Norge og internasjonalt. Dresser-Rand (US) demonstrerte et landbasert, full-skala CO₂-anlegg for dette bruksområdet i september 2014. CO₂-systemer har egenskaper som egner seg for bruk offshore, og et potensial til å kunne bygges enklere og mer kompakt enn dampsystemer. CO₂ har helt forskjellige egenskaper fra damp, og CO₂-bunnsykler har dermed behov for spesialutviklet teknologi for varmevekslere, turbomaskineri og kontrollstrategi for å kunne yte optimalt.

Elektrifisering av produksjonsskip

Ingen produksjonsskip (FPSO-er) på norsk sokkel er i dag elektrifisert med kraft fra land eller kraftsamkjørt med andre innretninger, med unntak av FPSO-sammenkoblingseksempelet Jotun fra 1999 der en FPSO (Jotun A) forsyner elektrisk strøm via sleperinger til en brønnhodeplattform (Jotun B).

Produksjonsskipene må kunne bevege seg etter vær og vind. For å kunne dreie fritt i forhold til kabler og rør som kommer opp fra havbunnen, har produksjonsskipet en dreieskive (også kalt sviveltårn eller turren) som har behov for en slepering for å kunne overføre elektrisk kraft. I henhold til kraft fra land-studien fra 2008 fantes det på det tidspunktet kvalifisert svivelteknologi for lavere spenningsnivåer (36 kV AC) for kortere avstander, om lag 10-50 km, som muliggjør kraftsamkjøring mellom produksjonsskip og andre innretninger.

De geografiske avstandene gjør det med dagens teknologi svært krevende å elektrifisere produksjonsskip direkte med kraft fra land. De tilgjengelige strøm- og spenningsnivåene på eksisterende slepering-teknologi gjør turreten på FPSO-en til en flaskehals. En nedtransformering av spenningen til noe rundt 30 kV på havbunnen "under" FPSO-en er trolig det beste alternativet hvis en skal overføre mer enn 20-30 MW ved avstander på 50-80 km. FPSO-elektrifisering via en transformator på havbunnen er i dag tilgjengelig for spenningsnivåer opp mot 132kV og overføringskapasiteter i størrelsesorden rundt 75-100 MVA (teknologikvalifisering pågår i dag knyttet til Ormen Lange subsea pilot og Åsgard subsea compression tie-back).

Det finnes i dag tilgjengelig svivelteknologi for spenningsnivåer opp mot 52 kV AC, som muliggjør noe større kraftoverføringer. Det pågår også et arbeid med å kvalifisere spenningsnivåer opp mot 80-90 kV DC parallelt med 90-132 kV AC. En DC overføring på spenningsnivå i dette området vil imidlertid kreve mye tungt utstyr på innretningen for konvertering til AC. For å få til elektrifisering av FPSO med kraft fra land uten subsea transformator, må spenningsnivået som går igjennom turreten/sviveltårnet opp i 90-110-132 kV AC området. Dette krever teknologiutvikling og/eller utstyrskvalifisering.

I forbindelse med Regjeringens behandling av Stortingsproposisjonen om utbygging, anlegg og drift av Skarv, ble det stilt som vilkår at rettighetshaverne i Skarv skulle gjennomføre et program som

skulle legge til rette for å utvikle teknologi for overføring av større kraftmengder til produksjonsskip. I 2010 ble teknologien for overføring av større mengder kraft (opp mot 80-90 kV DC) vurdert til å være klar for testing, og at neste steg vil være å bygge en prototype. Situasjonen i 2014 er imidlertid at kvalifiseringsarbeidet fortsatt pågår og at det store gjennombruddet har latt vente på seg.

Flere av produksjonsskipene på norsk sokkel, både nye og eksisterende, ligger i en avstand til andre innretninger som muliggjør kraftsamkjøring med andre innretninger eller med en hub dersom område-elektrifisering gjennomføres. Kraftsamkjøringen vil blant annet bidra til økt energieffektivisering, redusert fukling og mer stabil produksjon. Kostnadene ved kraftsamkjøring vurderes til å være lav sammenlignet med kraft fra land.

Havbunnsfabrikker

En havbunnsfabrikk er en samling prosesskomponenter på havbunnen. Prosesskomponentene kan omfatte sjøvannsinjeksjon (er installert på Tyrihans i dag), separasjon av olje og gass, oljepumper (en- og/eller flerfasepumping), kraftdistribusjon (via undervannshøyspentkabler), kontrollsystem som overvåker hele fabrikkene, og gasskompresjon (undervannskompresjon vil bli realisert på Åsgard A og Gullfaksfeltet i 2015). Tanker for lagring av olje/kondensat kan også installeres på havbunnen. Fasilitetene er modulbasert for å forenkle installasjonsprosessen og vedlikeholdskompleksiteten.

Havbunnsfabrikker vil kunne optimalisere produksjonen fra små felt, bidra til å utvikle felt som ligger langt fra land, på større dyp (dypvannsområder), i kaldere områder og i områder uten eksisterende infrastruktur.

Før havbunnsfabrikkene kan realiseres må en rekke teknologiske utfordringer løses. Dette gjelder blant annet å forsikre seg om at kraftforsyningssystemet er pålitelig, at roterende utstyr er i stand til å operere kontinuerlig på dypt vann. Bransjens mål er å utvikle og kvalifisere teknologielementene innen 2020.

Havbunnsfabrikker er av bransjen vurdert til å være mer økonomisk, sikrere og mer miljøvennlig enn tradisjonelle produksjonsinnretninger, blant annet fordi hotell drift og transport av mennesker til og fra feltet uteblir.

Havbunnsfabrikker vil måtte elektrifiseres med kraft fra land direkte eller fra en hub.

CCS offshore og på land

Naturgassen fra Snøhvitfeltet inneholder 5-8 prosent CO₂. For å kunne møte salgsgass-spesifikasjonen fjernes CO₂ fra naturgassen for deretter å bli komprimert og injisert i egnet reservoar på Snøhvitfeltet (CCS). Tilsvarende gjøres på Sleipnerfeltet til Utsiraformasjonen. Ved full produksjon på Melkøya fjernes rundt 700 000 tonn CO₂ årlig fra naturgassen. For Sleipner ligger tallet på om lag 1 million tonn CO₂ årlig.

Mulighetene for CCS på utslippskilder offshore har blitt vurdert tidligere i forbindelse med Klimakur 2020. Kostnadene ble vurdert til å være høyere enn kostnadene for CCS på land. Transportkostnadene vil imidlertid bli lavere på grunn av kortere transportavstander til reservoarene.

CCS har også blitt vurdert for gassprosesseringsanlegget på Kårstø. Undersøkelsene fra Gassco (Konkraft, 2009) antyder at det vil være vanskelig å føre utslippene fra de mange kildene til et enkelt fangstanlegg, og at dette ville nødvendiggjøre installasjon av flere fangstanlegg.

Tiltakskostnadene ble den gang estimert til 1 850-2 500 kroner per tonn for fangst, transport og lagring.

CCS ble også vurdert for anlegget på Melkøya. Designet på anlegget gjør at installering av fangstanlegg vil kreve lang driftsstans og dermed bli svært kostbart. Dersom landanleggene ikke elektrifiseres er CCS en mulig løsning. Basert på det vi vet per i dag er elektrifisering et rimeligere alternativ.

Integrasjon av offshore vind til olje- og gassinstallasjoner

DNV GL ser i dag på muligheten for å benytte offshore vindkraft til å dekke deler av kraftbehovet til en innretning. Vindkraften er variabel og vil ikke kunne dekke hele kraftbehovet uten gode lagringsløsninger. Ved å integrere vindkraft som en del av forsyningen vil en kunne benytte mindre gasskraft og med det redusere utslippene fra energiproduksjon. I tilfeller der man vil kunne forlenge levetiden til et felt, men der dette vil bety et økt kraftbehov, eller der feltet etter hvert mangler gass for å fortsette produksjonen, presenterer DNV GL vindkraft som et alternativ. Det Norske Veritas, nå DNV GL, har spesielt sett på å forsyne subsea-vanninjeksjon med vindkraft (Det Norske Veritas, 2013). Subsea-vanninjeksjon for å øke utvinningen er antatt å kunne håndtere den variable vindkraften. I en slik løsning vil vindkraftverket og subsea-vanninjeksjonsinstallasjonen fungere som en enkeltstående enhet og potensielt lange kraftoverføringskabler unngås.

4.3.7 Virkemidler

Dette kapitlet drøfter mulige virkemidler uten å anbefale virkemidler som kan utløse tiltak innen sektoren. Høye avkastningskrav, konkurranse mellom prosjekter samt utfordringer knyttet til eierstruktur, er barrierer som ofte forhindrer at tiltak gjennomføres offshore. Disse barrierene peker i retning av at virkemidler ut over CO₂-pris blir nødvendig for å oppnå utslippsreduksjoner offshore.

4.3.7.1 Administrative virkemidler

Petroleumsloven - krav om kraft fra land for alle nye innretninger

Det er i dag krav om at kraft fra land skal vurderes for alle nye innretninger. Det er i den forbindelse viktig å ta høyde hvordan en ambisiøs klimapolitikk vil påvirke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av nye prosjekter. Elektrifisering av nye innretninger vil forhindre at man låser seg til fossil infrastruktur og bidra til at utslippene fra sektoren ikke øker i årene fremover. Det er mye som tilsier at det er enklere og billigere å elektrifisere nye innretninger enn eksisterende innretninger - at det vil bli dyrere å elektrifisere senere.

Forurensningsloven - krav i tillatelser etter forurensningsloven

Industriutslippsdirektivet og BAT

Utslipp til luft fra petroleumssektoren faller innenfor virkeområdet til forurensningsloven og forurensningsforskriften. Forurensningsforskriftens kapittel 36 er basert på Industriutslippsdirektivet (IED) som erstatter IPPC-direktivet²⁴. Direktivet inneholder bestemmelser om energieffektivitet og anvendelse av beste tilgjengelige teknikker (BAT).

Til hjelp for myndighetenes bestemmelse av hvilke teknikker som vurdert generelt kan anses som BAT, utarbeides det i EU såkalte BAT- referansedokumenter (BREF-dokumenter) både bransjevis og på tvers av bransjer. Petroleumsanleggene på land er omfattet av "BREF for *Refining of mineral oil*

²⁴ 96/61/EF om integrert forebygging og begrensning av forurensning

and gas". For offshore foreligger det ingen bransje-BREF per i dag. Energianleggene offshore er imidlertid omfattet av BREF for store forbrenningsanlegg tilsvarende landanleggene. Dette dokumentet er for tiden under revisjon.

Etter overgangen fra IPPC- direktivet til IED inneholder BREF-dokumentene BAT-konklusjoner. Direktivet forplikter myndighetene til å stille tilsvarende eller strengere krav i vilkårene i tillatelser til industrien. Direktivet krever også at forurensningsmyndigheten sikrer at kravene overholdes senest fire år etter publisering av ny eller revidert BREF.

Utslipp fra fakling

Petroleumsloven inneholder et generelt forbud mot fakling, med unntak for sikkerhetsfakling. Det er fortsatt et potensial for å redusere hendelsene som medfører sikkerhetsfakling og tilhørende utslipp til luft gjennom økt fokus på jevn drift. Flere av de største feltene på norsk sokkel i tillegg til Hammerfest LNG, hadde i 2012 og 2013 høye faklingsutslipp. En tettere oppfølging av virksomhetenes prosedyrer og faklingsstrategier vil kunne redusere utslippene fra fakling ytterligere. Dette kan gjennomføres som en integrert del av oppfølgingen av virksomhetenes planer for energiledelse og implementering av faklingsstrategier. En grundigere gjennomgang vil kunne avklare reelle muligheter for å gjennomføre forbedringstiltak, og bidra til å identifisere hva som er beste praksis under ulike driftsforhold.

Valg av fakkelsystem og prosessløsninger har betydning for utslippene til luft. Virksomhetene plikter i henhold til forurensningsloven å ta i bruk BAT for å forebygge og begrense forurensning. En tettere oppfølging i tidlig fase av nye utbyggingsprosjekter og ved større modifikasjoner og endringer på eksisterende innretninger, vil kunne bidra til å få utløst ytterligere tiltak som reduserer utslippene.

Kunnskapen om utslipp av metan må bedres

Usikkerheten i utslippstallene som rapporteres for metan fra kaldventilering og lekkasjer i prosesser offshore, anses å være spesielt stor. Før en eventuell innskjerping av virkemiddelbruken på disse områdene, er det spesielt viktig å få bedre kunnskap om utslippenes størrelse. En effektiv regulering forutsetter at kunnskapsgrunnlaget om utslippsnivåer, reduksjonsmuligheter og reduksjonspotensial, er tilstrekkelig. Miljødirektoratet setter derfor nå i gang et prosjekt for å bedre kunnskapsgrunnlaget om direkte utslipp av metan fra innretninger på norsk sokkel.

4.3.7.2 Økonomiske virkemidler

CO₂-avgiften og kvotesystemet

Petroleumsindustrien er i dag omfattet av CO₂-prising både gjennom kvotesystemet og CO₂-avgiften. I 2013 ga de to virkemidlene en kombinert pris på i underkant av 465 kroner per tonn CO₂. Kvotepriisen utgjorde litt over 10 prosent av den kombinerte prisen. I rapporten *Konsekvenser av lave kvotepriser i EU-ETS* (Carbon Limits, 2014) ble effekten av CO₂-pris vurdert. Rapporten baserer seg på intervjuer av selskaper som til sammen sto for tre fjerdedeler av utslippene fra petroleumssektoren i 2012.

I rapporten ble det vurdert at verken CO₂-avgift, kvotepris, eller summen av disse hadde noen særlig innvirkning på beslutningene for større investeringsprosjekter i petroleumssektoren. Dette fordi kostnaden ved utslipp var en relativt liten del av det totale kostnadsbildet for sektoren. Selv om dette tyder på at dagens kvotepris isolert sett ikke påvirker overgang til et mer klimavennlig samfunn, konkluderer rapporten med at en ikke kan konkludere med at kvotepris og kvotemarkedet er uten betydning. Industrien vet ikke hva fremtidige utslippskostnader vil bli, da både kvotepris og tildeling av vederlagsfrie kvoter i fremtidige forpliktelsesperioder er svært usikker. Det er en generell forventning om at utslippskostnader kommer til å gå opp. Dette gjør at eksponeringen mot

kvotemarkedet øker, og det kan ønskes å redusere usikkerhet ved å redusere eksponering mot markedet. Teknologiløsninger påvirkes i større grad av HMS-krav, forhold som relaterer seg til produksjon og myndighetskrav som gir lave klimagassutslipp.

Eierstrukturen på sokkelen kan også ha betydning for om miljøprosjekter blir gjennomført ved at de mange eierne av et felt kan ha ulike prioriteringer og interesser.

Økonomisk støtte til energieffektivisering og energiomlegging

Petroleumssektoren har i liten grad benyttet seg av dagens støtteordninger til energieffektivisering og energiomlegging gjennom Enova. Dette skyldes bl.a. avkastningskravene på norsk sokkel. Det eneste prosjektet vi er kjent med at det har blitt søkt støtte til er etablering av energiledelse på Oseberg. Økt bruk av økonomisk støtte til etablering av energiledelse på sokkelen og i tillegg energieffektiviseringstiltak på land vil kunne utløse prosjekter som per i dag ikke utløses av dagens virkemidler.

Økonomisk støtte til demonstrering av turret/svivel-teknologi for overføring av kraft til produksjonsskip

Teknologien som forutsettes brukt for å kunne kraftsamkjøre produksjonsskipene med andre innretninger på norsk sokkel anses for å være tilgjengelig per i dag, men er ikke tatt i bruk på norsk sokkel. Offentlige støtteordninger kan være et egnet virkemiddel for å få demonstrert teknologien i full skala, for dermed å påskynde gjennomføring av tiltaket.

Forskning og utvikling (FOU)

Offentlig støtte til forskning og utvikling er et egnet virkemiddel for å få utviklet og demonstrert nye løsninger som for eksempel dampbunnsyklus (mindre systemer for produksjon av dampkraft) og turret/svivel-teknologi som gjør det mulig å elektrifisere produksjonsskip med kraft fra land.

Avgift på metan

Man kan for framtiden tenke seg en avgift på kortlevde klimadrivere som metan. For at bruk av avgift skal være hensiktsmessig, bør alle utslipp som omfattes av avgiften kunne kvantifiseres med tilfredsstillende nøyaktighet og uten urimelig store kostnader. Avgiftssatser bør eventuelt fastsettes med utgangspunkt i klimaeffekten av hver enkelt utslippskomponent.

4.3.8 Mulige utslippsnivåer

I dette kapittelet vil vi med utgangspunkt i tiltakene beskrevet i 4.3.4 presentere tre mulige tiltakspakker for sektoren.

Tiltakspakke 1 omfatter de minst kostnadskrevende tiltakene som også er lett tilgjengelige i dag. Dette vil i hovedsak være de billigste energieffektiviseringstiltakene og de fleste faklingstiltak. I tillegg er helelektrifisering av enkelte nye innretninger inkludert i denne kategorien. Ved å gjennomføre tiltakene i denne tiltakspakken vil en kunne oppnå utslippsreduksjoner tilsvarende 1,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Potensialet for reduksjon ved elektrifisering av nye innretninger er svært grovt beregnet.

Tiltakspakke 2 omfatter i tillegg de resterende fakling- og energieffektiviseringstiltakene og også elektrifisering av de nye innretningene som ikke falt inn under kriteriene til tiltakspakke 1. Ved å gjennomføre tiltakene i tiltakspakkene 1 og 2 vil en kunne oppnå utslippsreduksjoner tilsvarende 2,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Potensialet for reduksjon ved elektrifisering av nye innretninger er svært grovt beregnet.

Tiltakspakke 3 inkluderer i tillegg til tiltakene i tiltakspakke 1 og 2 deelektrifisering av områdene Sørlege Nordsjø, Nordlige Nordsjø (50 og 60 Hz) og Norskehavet. Områdeelektrifiseringstiltakene for Norskehavet og nordlige Nordsjø er skalert for å ta hensyn til felt som med dagens antagelser er antatt å være avsluttet før eller i 2025. I tillegg er flere felt inkludert i områdeløsningen knyttet til elektrifisering av feltene på Utsirahøyden.

For landanleggene har vi lagt til grunn helelektrifisering av Tog I på Hammerfest, men at gassfyrt kjel fortsatt benyttes, og elektrifisering av gassbehandlingsanlegget på Kårstø.

Tiltakspakken inkluderer et større elektrifiseringstiltak ved store oppgraderinger som uansett skal gjennomføres. Vi har antatt at et felt med lang levetid og utslipp på omkring 400 000 tonn CO₂-ekvivalenter har en innretning som må skiftes ut i forbindelse med en større oppgradering og blir helelektrifisert tilsvarende Valhall.

Ved å gjennomføre tiltakene i alle de tre tiltakspakkene vil en kunne oppnå utslippsreduksjoner tilsvarende 6,6 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Potensialet for reduksjon ved elektrifisering av nye innretninger er svært grovt beregnet.

Tiltakspakke 3 inkluderer ikke helelektrifisering av eksisterende felt da det er stor usikkerhet rundt hvor krevende dette vil være og rundt kostnadene knyttet til tiltaket. Dersom en ønsker en utslippsfri petroleumssektor vil en måtte gjennomføre helelektrifisering til tross for at det vil kunne bety at innretningene i sin helhet må erstattes av nye.

4.3.9 Energikonsekvenser

I dette avsnittet presenterer vi hvordan ulike tiltak vil kunne ha effekt på energibehovet i sektoren. Når vi her snakker om energibehov er det behovet for elektrisitet fra kraftnettet på land som omtales, og ikke energien som produseres offshore. Når en skal se på hvor stort energibehovet fra nettet på land vil kunne være må følgende spørsmål besvares:

- Hvordan vil forbruket være fremover hos innretningene som i dag er forsynt med kraft fra land?
- Hvordan vil forbruket hos landanleggene være fremover? Dette vil avhenge av hvilke tiltak som gjennomføres.
- Hvor stort behov vil elektrifisering av nye felt medføre?

Ifølge Statnetts nettutviklingsplan for 2013 er forbruket til petroleumssektoren 7-8 TWh elektrisitet i dag og forbruket kan videre vokse med 3 TWh i nærmeste framtid (Statnett, 2013). I disse tre TWh antar vi at kraft til Goliat, Martin Linge og Utsira er inkludert.

I tillegg er det forventet at kraftbehovet på Troll A vil øke fra 0,4 TWh i dag til 2,2 TWh fram mot 2020²⁵. Kraftbehovet på Kollsnes er også forventet å øke til 2 TWh i 2011-2013 (fra 1,7 TWh i 2007) for deretter å avta²⁶.

Utbyggingen av Ormen Lange er også forventet å gi et noe økt kraftbehov, mens installasjon av prekompresjon er forventet å medføre en dobling av dagens kraftbehov. Hammerfest LNG Tog II vil også kunne øke kraftbehovet fra sektoren dersom denne realiseres.

²⁵ Melding med forslag til utredningsprogram for utvidet gassbehandlings- og gasseksportkapasitet på Kollsnes av juni 2007.

²⁶ Melding med forslag til utredningsprogram for utvidet gassbehandlings- og gasseksportkapasitet på Kollsnes av juni 2007.

De fleste av innretningene som i dag er elektrifisert har en høy forventet levetid, men etter hvert vil også disse avsluttes og med det også kraftbehovet. Det er i dag bare GjØa som antas å avsluttes før 2030.

Elektrifisering av nye felt som vi i dag ikke kjenner til vil også ha et kraftbehov dersom disse elektrifiseres. Dette behovet vil avhenge av innretningen og feltet og er derfor vanskelig å si noe om, men som en pekepinn kan en huske på at en helelektrifisering av Utsirahøyden forventes å tilsvare et kraftbehov på 1,7 TWh²⁷, mens Valhall har et kraftbehov på mellom 0,4 og 0,5 TWh.

4.3.10 Oppsummering

Petroleumssektoren omfatter alle faste og flyttbare innretninger på norsk sokkel og mottaks- og behandlingsanlegg på land. Sektorens utslipp av klimagasser utgjorde 13,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012. Dette tilsvarer om lag en fjerdedel av de samlede norske klimagassutslippene.

Petroleumssektoren har i hovedsak utslipp fra stasjonær forbrenning som kan reduseres med kjent teknologi.

Tidligere ble det antatt at utslipp fra innretninger offshore i stor grad fulgte produksjonen og derfor ville avta med avtagende produksjon. I dag ser man i større grad på forventet energibehov. Dersom det ikke forventes endring i kraftgenererende utstyr forventes det heller ikke større endringer i framtidige utslipp fra innretningen.

Dersom en ser på levetiden til feltene som produserer i dag og hvor lenge det antas produksjon fra nye planlagte innretninger, forventes det at mange felt vil produsere fram til 2030. Troll A, Johan Sverdrup og Ormen Lange landanlegg forventes å være i produksjon også i 2050. Historisk sett har det vært en klar tendens til at feltlevetider forlenges.

Tiltak med antatt lavest kostnader i petroleumssektoren er energieffektiviseringstiltak, tiltak for å redusere fakling og elektrifisering av enkelte nye innretninger.

Reduksjonspotensialet ved delelektrifisering vil være varierende. Dersom man skal oppnå svært store utslippsreduksjoner i sektoren, vil en måtte vurdere helelektrifisering av eksisterende innretninger der man kan forvente lang levetid. Hvor teknisk krevende helelektrifisering vil være, vil avhenge av hvordan ulike innretninger er konstruert.

De som fakler mest fakler mye mer enn gjennomsnittet. Det er fortsatt mulig å redusere utslippene fra fakling. Sikkerhetsfakling vil måtte forekomme, men en større innsats på å unngå hendelsene som fører til fakling vil kunne redusere utslippene.

Dersom en ønsker å unngå nye store punktutslipp i sektoren kan omtrent 80 prosent av utslippene fra nye innretninger unngås ved helelektrifisering. Med helelektrifisering menes at alle turbiner, både de som generer elektrisitet og direktdrevne turbiner som driver pumper og kompressorer, erstattes med elektrisk utstyr. Ved å elektrifisere nye innretninger fra oppstart av unngår man nye store punktutslipp med lang levetid som vil bli dyre å elektrifisere senere.

²⁷ Konsekvensutredninger for feltene på Utsirahøyden (Edvard Grieg, Ivar Aasen og Gina Krog) og program for konsekvensutredning for Johan Sverdrup

Det er flere eldre innretninger på norsk sokkel. Dersom det uansett skal gjennomføres større oppgraderinger kan dette åpne for at utslippsreducerende tiltak kan bli lettere tilgjengelig.

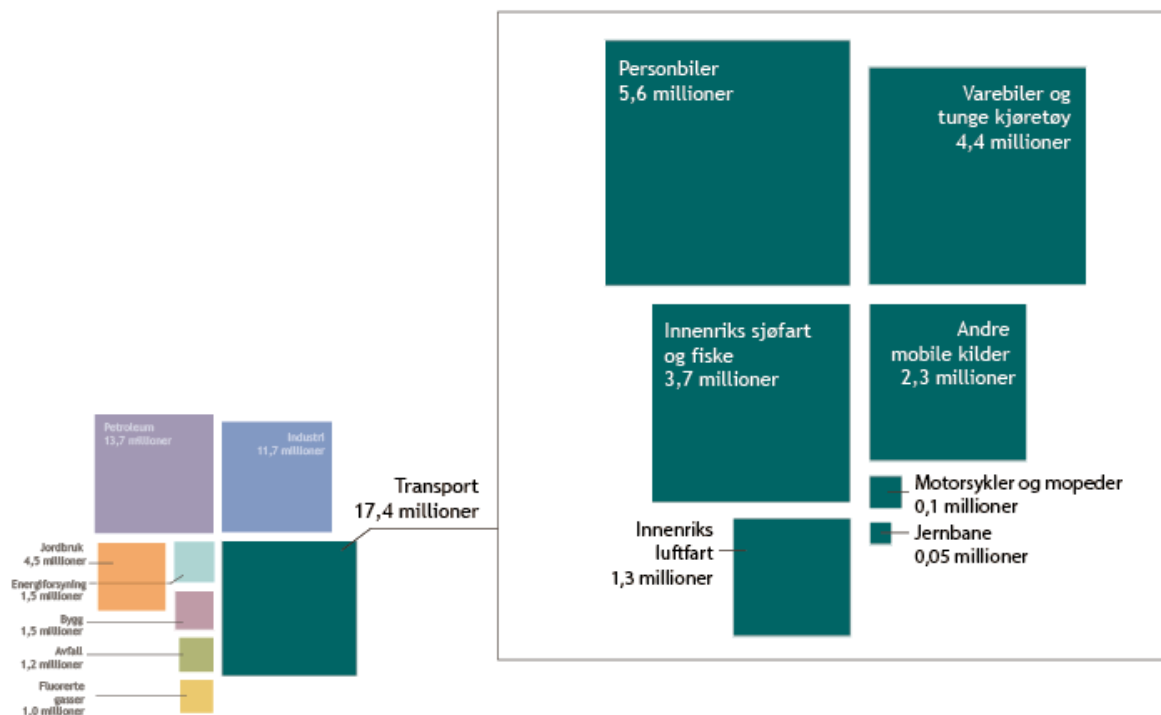
Høye avkastningskrav, konkurranse mellom prosjekter, samt utfordringer knyttet til eierstruktur er barrierer som kan forhindre at tiltak gjennomføres offshore. Disse barrierene peker i retning av at virkemidler ut over CO₂-pris blir nødvendig for å oppnå utslippsreduksjoner offshore.

Det er i utgangspunktet teknisk mulig, men kostnadskrevende, å oppnå en tilnærmet utslippsfri olje- og gassproduksjon. For å oppnå dette, vil en måtte helelektrifisere både nye og eksisterende innretninger som forventes å være i produksjon på dette tidspunktet. For eksisterende innretninger vil dette kunne bety at innretningene i sin helhet må erstattes av nye. I et så langt tidsperspektiv vil antakelig en del av disse likevel måtte gjennomføre store oppgraderinger.

4.4 Transport

Utslipp av klimagasser fra transportsektoren i 2012

Utslipp til luft (tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 4-22 Utslipp fra transportsektoren i 2012.

4.4.1 Innledning

Dette kapittelet beskriver hva som skal til for å oppnå en nærmest utslippsfri transportsektor. Innledningsvis gjør vi rede for avgrensninger til andre sektorer, metodikk og prosess. Deretter beskrives utslippene fra transportsektoren slik de er i dag, hvordan utslippsutviklingen har vært siden 1990 og forventningene til framtidige utslipp uten innføring av nye tiltak og virkemidler. Så ser vi frem mot 2050; hvordan kan transportsektoren oppnå nullutslipp, hvilke teknologier ser vi for oss og hvordan transporteres mennesker og varer i et lavutslippsamfunn. Derne beskrevet mulige tiltak frem til 2030 mer i detalj. Til slutt viser vi noen mulige sammensetninger av disse tiltakene for å oppnå ulike ambisjonsnivåer for utslippskutt i 2030, samt konsekvenser for etterspørselen etter ulike energibærere.

I utredningen av tiltak både fram mot 2030 og for 2050 ser vi på utslipp som er omfattet av det norske klimagassregnskapet i henhold til klimakonvensjonen. Det vil si at det er utslipp fra transport som skjer i Norge som teller med, og tiltak som kan redusere utslippene fra skipsfart og flyreiser til og fra Norge er dermed ikke en del av vår tiltaksanalyse. Utslippene fra transportsektoren er knyttet til bruk av fossile drivstoff (bensin, diesel, fossil naturgass, marin dieselolje, jetfuel med mer). Utslipp som oppstår i forbindelse med produksjonen av drivstoff, produksjon av kjøretøyet og lignende telles ikke som transportutslipp, men vil telle som utslipp i henholdsvis petroleumssektoren eller industrisektoren. Dersom produksjonen skjer i Norge, vil disse utslippene være del av Norges utslippsregnskap, mens produksjon som skjer i andre land vil være omfattet av deres utslippsregnskap. Utslipp av kjølemedier (HFKer) som blant annet benyttes i klimaanlegg er behandlet i kapittel 4.8 om fluorerte gasser i produkter. Det er altså ikke en livsløpsanalyse (LCA) av ulike transportsystemer som gjennomføres i dette prosjektet. I tråd med hvordan utslipp

beregnes i det norske utslippsregnskapet er utslipp knyttet til bruk av elektrisitet satt til null. For hydrogenproduksjon er det forutsatt at dette skjer ved hjelp av elektrolyse, slik at dette også blir regnet som et nullutslippsalternativ. Dersom hydrogenproduksjonen skjer ved hjelp av reformering av fossil naturgass vil alle hydrogentiltakene som er beskrevet ha betydelig lavere utslippsreduksjoner.

Energi og utslipp knyttet til bygging, vedlikehold og drift av infrastruktur for transport inngår bare indirekte i transportsektoren siden utslippene fra bygg- og anleggsmaskiner er inkludert i sektoren "andre mobile kilder". Utslipp knyttet til produksjon av veimaterialene (asfalt, stål, betong etc.) vil være inkludert i industrisektoren. Drift omfatter snøbrøyting, veisaltning, ventiler og belysning av tunneler, signalanlegg samt belysning av veier og parkeringsområder. Utslipp fra kjøretøyene som driver med f.eks. veisaltning vil være inkludert i transportsektoren.

I arbeidet med dette kapitlet har vi fått innspill fra mange fagmiljøer innenfor transport og vi har hatt et tett samarbeid med Vegdirektoratet, Kystverket, Jernbaneverket og Avinor. De endelige vurderingene og beskrivelsene er gjort av Miljødirektoratet.

I dette prosjektet har det vært et ønske å analysere effekten av tiltak og virkemidler ved hjelp av transportmodellene som benyttes i NTP²⁸-arbeidet. Det har imidlertid vist seg at disse analysene ikke er klar i tide til å kunne inkluderes i denne rapporten og resultatene vil derfor først bli presentert på et senere tidspunkt.

4.4.2 Utslipp og framskrivninger

I dette kapitlet beskrives historiske utslipp i transportsektoren og framskriving uten innføring av nye virkemidler basert på Perspektivmeldingen fra 2013.

Utslipet i transportsektoren var på rundt 17,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012. CO₂ står for 98 prosent av utslippet i sektoren, mens lystgass (N₂O) og metan (CH₄) står for det resterende utslippet. Utslipet har økt med ca. 30 prosent fra 1990 til 2012 og forventes å fortsatt øke framover, se Figur 4-23.

I denne rapporten har vi valgt å dele transportsektoren i følgende grupper:

- Persontransport
 - Denne kategorien omfatter transportarbeid utført av personbiler, ikke-motorisert transport (sykkel, gange med mer), buss, passasjerfly, passasjerferger, passasjer-tog og annen kollektiv transport, motorsykkel og moped
- Godstransport
 - Denne kategorien inkluderer transportarbeid utført av lastebiler, varebiler (grønne skilt), godstog, frakteskip og fiskebåter
- Andre mobile kilder
 - Denne kategorien inkluderer bruk av anleggsmaskiner, traktorer, fritidsbåter og snøscootere med mer

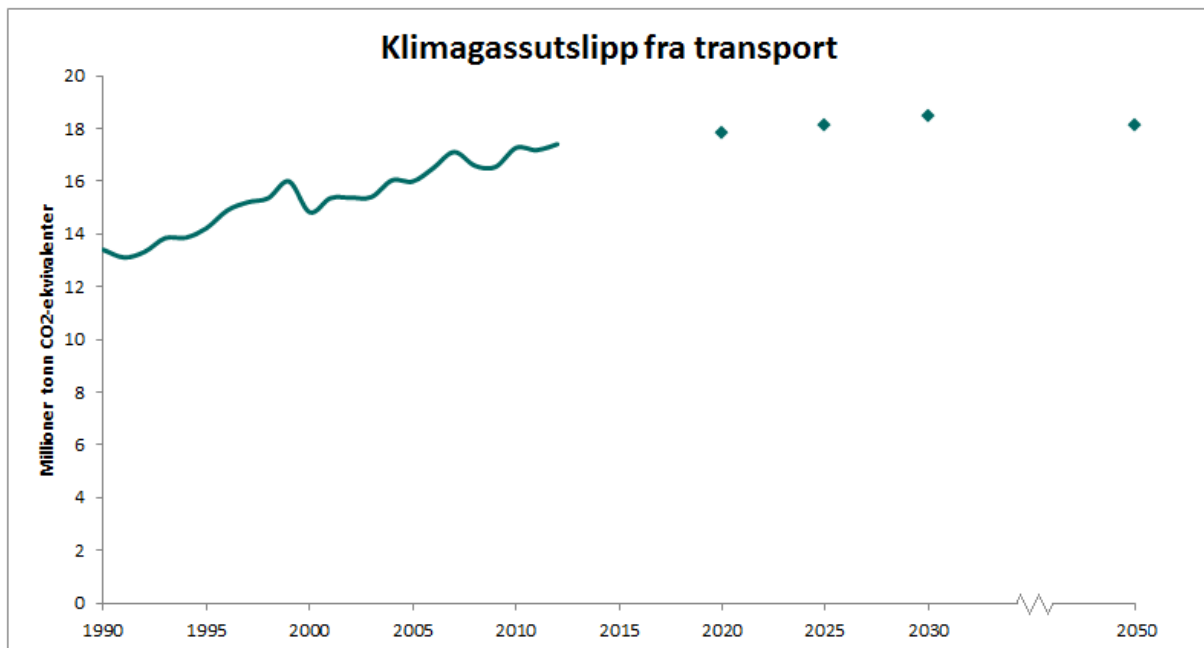
4.4.2.1 Historiske og dagens utslipp

Personbilene står for det største utslippet i sektoren (ca. 32 prosent eller 5,6 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012), se Figur 4-22 Utslipp fra transportsektoren i 2012. Figur 4-22. Godstransport på vei står også for en betydelig andel: tunge kjøretøy og varebiler står for 25 prosent av

²⁸ Nasjonal transportplan som utarbeides av Statens vegvesen, Jernbaneverket, Kystverket og Avinor

transportutslippene. Fordelingen på de andre undersektorene er vist i Figur 4-22. Utslippene i transportsektoren har økt med rundt 30 prosent fra 1990 til 2012, se Figur 4-23.

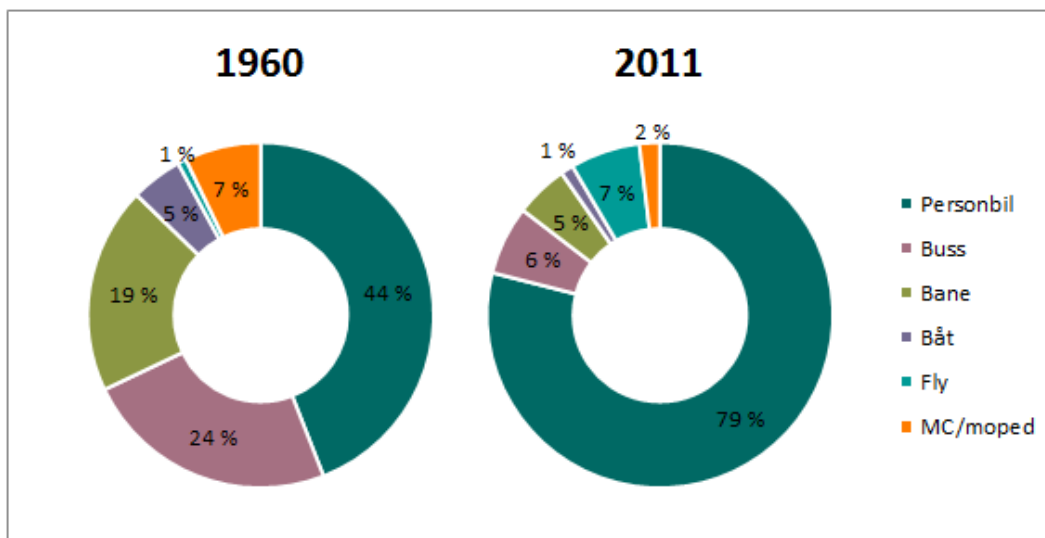
En nærmere diskusjon av historiske utslipp og faktorene som kan forklare utviklingen finnes i rapporten Utslipp av klimagasser 1990–2010 - Trender og drivkrefter (Klif, 2013b) og i Fase1-rapporten (Miljødirektoratet, 2014b). En oversikt over dagens virkemidler for sektoren finnes i vedlegg 6.



Figur 4-23 Utslippsutvikling (1990–2012) og framskrivinger (2020–2050) for transportsektoren.

Persontransport

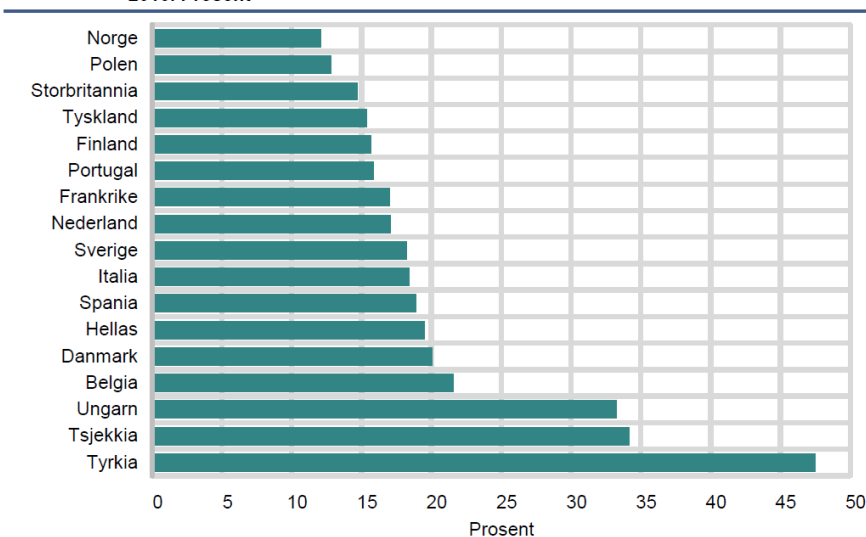
Persontransporten i Norge fordeler seg på ulike transportformer som vist i Figur 4-24. Mens rundt halvparten av reisene ble gjort med kollektive transportmidler i 1960, dominerer personbilen i 2011. Andel flyreiser har også økt betydelig. I 2011 reiste gjennomsnittsnordmannen hver dag 32 km med personbil, 4,5 km med annen veitransport slik som buss, 2,65 km med fly, 2 km med tog og 0,5 km med båt.



Figur 4-24 Fordeling av persontransportarbeidet på transportformer i 1960 og 2011 (SSB, 2013b).

Ved sammenligning med andre europeiske land ser man også at Norge har en lav kollektivreise-andel av persontransporten, se Figur 4-25. Noe av dette kan forklares med spredt bebyggelse, men hovedsakelig er dette knyttet til velstandsøkning (vi bor ikke mer spredt nå enn i 1960).

Figur 2.4. Andel kollektivtransport av sum personbil- og kollektivtransport i utvalgte land^{1,2,3}. 2010. Prosent



¹ Personbiltallene for Norge og Belgia inkluderer beregnet andel av persontransport for vare- og personbiler.

² Kollektivtransporten er definert som buss, jernbane, T-bane og trikk (eksklusiv fly).

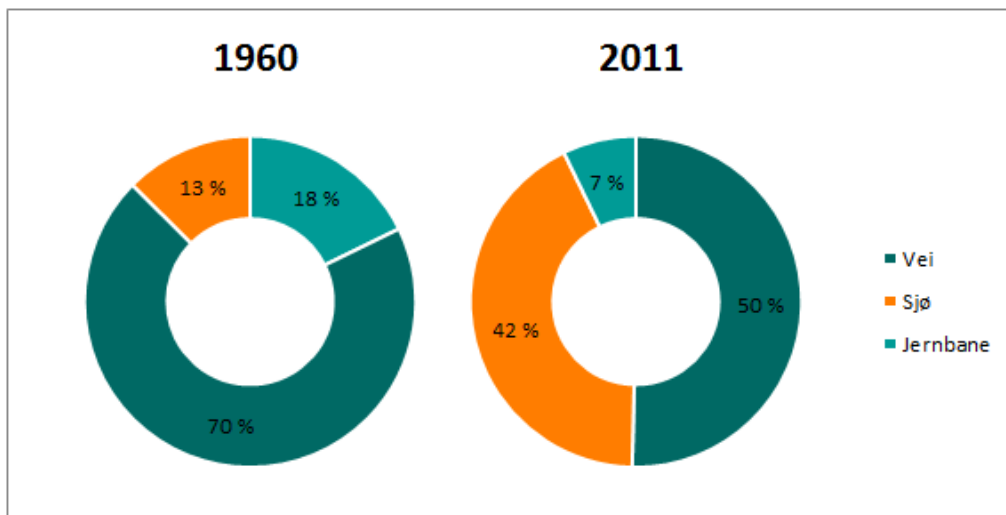
³ Andel regnet av transportarbeidet i personkilometer.

Kilde: EU transport in figures. Statistical pocketbook.

Figur 4-25 Andel kollektivreiser av persontransporten i utvalgte land (SSB, 2013b).

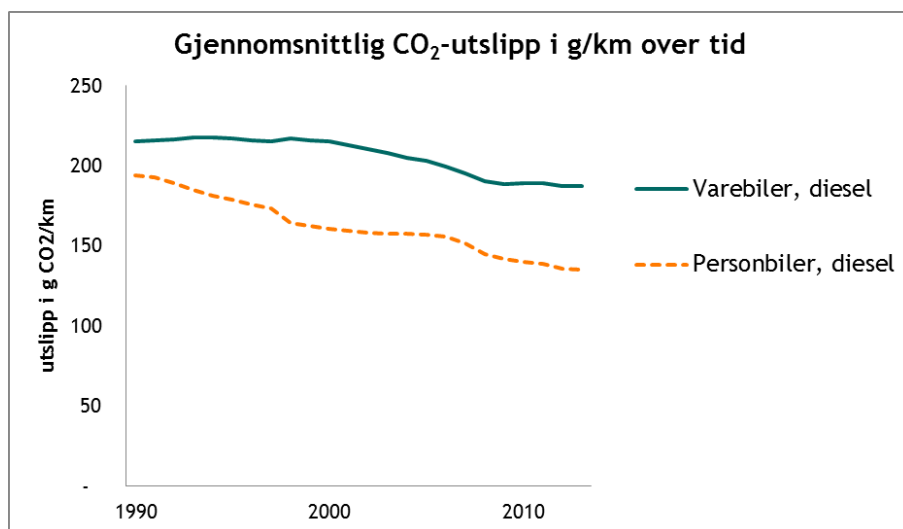
Godstransport

Den største delen av godstransporten skjer med veigående kjøretøy (varebiler og lastebiler) som står for ca. 50 prosent av transportarbeidet. Sjøtransport står for ca. 40 prosent, mens i underkant av 10 prosent av godset blir transportert med jernbane. Som vist i Figur 4-26 er det spesielt sjøtransport som har tapt markedsandeler til veitransporten siden 1960.



Figur 4-26 Innenlands godstransportarbeid etter transportmåte (SSB, 2013b).

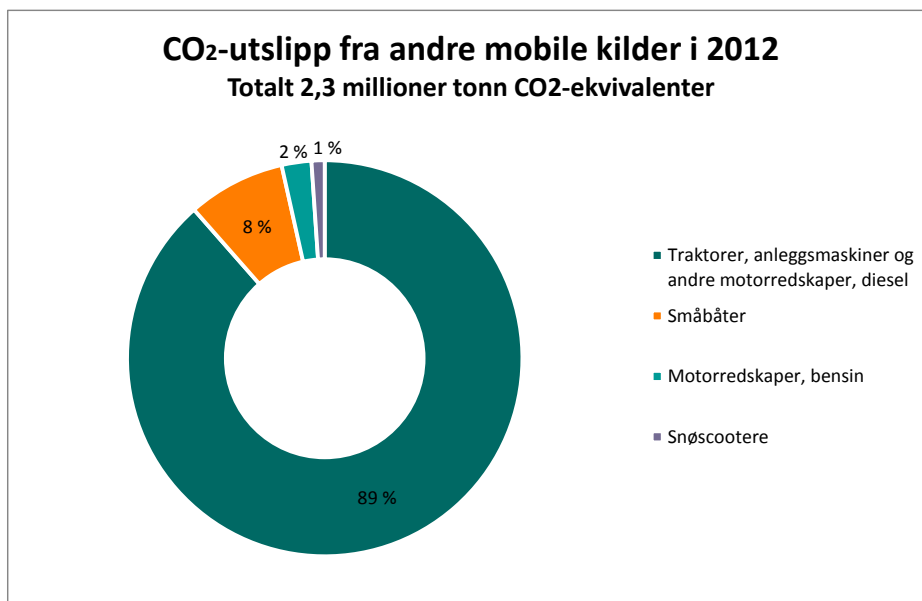
Det har de siste årene gradvis blitt innført en økt vektlegging av CO₂-utslippet ved beregning av engangsavgiften for nye kjøretøy, noe som har ført til en betydelig reduksjon av utslippet i gram CO₂/km for nye personbiler. Næringskjøretøy (varebiler/biler med grønne skilt) betaler kun en prosentandel av engangsavgiften, slik at den økte vektleggingen av CO₂-utslipp ikke har påvirket dette markedet like sterkt. Det har derfor ikke vært en like tydelig nedgang av utslipp per km for disse kjøretøyene, se Figur 4-27. Mens utslipp per kilometer er redusert med 30 prosent for diesel-personbilparken i perioden 1990-2010, er reduksjonen for varebilene kun på 13 prosent.



Figur 4-27 Utslipp per kilometer fra personbiler og varebiler fra 1990 til 2013.

Andre mobile kilder

Det største utslippet i denne kategorien stammer fra bygg- og anleggsmaskiner (gravemaskiner, hjuldumpere etc.) og ulike maskiner som brukes i jordbruket (traktorer, skurtreskere etc.), se Figur 4-28. Til sammen hadde disse maskinene et utslipp på ca. 2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012. Fritidsbåter bidrar også noe (rundt 180 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2012), mens snøscooter (25 000 tonn CO₂-ekvivalenter) og andre maskiner som gressklippere og motorsag (ca. 55 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2012) står for en mindre del av utslippet.



Figur 4-28 Utslippsfordelingen på andre mobile kilder.

4.4.2.2 Framskrivningen

Utslippsandelen for varebiler og tunge kjøretøy av de totale transportutslippene har økt fra 1990 til 2010, og disse kjøretøyene er forventet å stå for en enda større del av utslippene i 2030. Utslippene fra personbiler forventes også å øke fram mot 2030, men med lavere vekst enn utslippene fra varebiler og tunge kjøretøy. Bidraget fra innenriks sjøfart og fiske er noe redusert og forventes å stå for en mindre andel av de totale utslippene i 2030. De resterende utslippskategoriene er forventet å øke i ca. samme takt mot 2030.

Utslippsforventningene er basert på framskrivninger laget av Finansdepartementet (PM2013). Forutsetningene for denne er beskrevet i faktaboksen i vedlegg 6. I og med at framskrivingene er noen år gamle har noen av forutsetningene vist seg å ikke stemme med utviklingen, for eksempel var det antatt at man i 2030 ville ha 30 000 elbiler på norske veier, mens dette antallet allerede ble passert i 2014. Referansebanen tar bare hensyn til forventet effekt av vedtatte virkemidler, og ikke rene målsetninger. Det medfører at for eksempel nullvekstmålet (Regjeringens mål om at vekst i persontransport i de store byene skal tas av sykkel, gange og kollektiv og ikke medføre en økning av personbil-km) eller regjeringens mål om et utslipp på 85 g/km for nybiler i 2020 ikke er del av referansebanen. I tiltaksutredningene benytter vi likevel referansebanen (PM2013).

4.4.3 Transportsektoren i et lavutslippssamfunn

4.4.3.1 Innledning

Utslippene fra de to kvotepliktige sektorene, landbasert industri og petroleum, kommer i dag fra 133 ulike installasjoner på land og offshore. Disse 133 installasjonene er ansvarlige for omtrent halvparten av de norske klimagassutslippene. Til sammenligning er transportsektoren i dag over 4 millioner små utslippskilder som til sammen slipper ut rundt 30 prosent av de norske klimagassene, og antall utslippskilder forventes å øke frem mot 2050. Utfordringene ligger i å legge om et system der så mange mennesker tar utslippsavgjørelser hver dag - når de bestemmer hvordan de skal komme seg til jobben, hvor de skal bo, hva slags bil de skal kjøpe, hvordan varer skal transporteres eller om de skal fly eller ta toget på lengre reiser.

Transportsektoren er kanskje den norske utslippssektoren som er mest sammenlignbar med andre land. Globalt står transport for 14 prosent av klimagassutslippene og for 27 prosent av energibruken, og reduksjon av fossilt energibruk i denne sektoren er dermed avgjørende for å nå togradersmålet. Basert på dagens kunnskap virker det lite sannsynlig at én type teknologi vil kunne dekke alle framtidige transportbehov. Ulike transportsegmenter vil ende opp med ulike lavutslippsløsninger og det er heller ikke opplagt hvilke teknologier som blir framtidens "vinnere" i de ulike segmentene. I og med at vi i liten grad produserer transportmidler i Norge (med unntak av skip) er vi delvis prisgitt teknologiutviklingen internasjonalt. Samtidig kan vi velge å legge til rette for enkelte teknologier gjennom bygging av infrastruktur og ved å stimulere markedet.

Vi ser allerede omrisset av en verden der fossile drivstoff kan erstattes med alternativer som elektrisitet, hydrogen, biodrivstoff og kanskje også syntetisk drivstoff. Vi har i dette kapittelet valgt å beskrive disse teknologiene basert på dagens kunnskap om hvor de eventuelt kan benyttes. Hovedtrenden vi ser er allikevel et behov for løsninger som reduserer det samlede transportbehovet. Antall mennesker som bor i byer forventes å øke med minst 2,5 milliarder innen 2050²⁹. Da vil 2/3 av verdens befolkning bo i byer, og god byplanlegging som reduserer transportbehovet blir avgjørende for globale klimagassreduksjoner. Dagens personbiler er ressurskrevende i produksjon og bruk, de står parkert mye av levetiden, og fører til lokal forurensning. Etter hvert som befolkningen i byer øker vil disse kjøretøyene måtte konkurrere med mer ressurs- og klimateffektive løsninger. I tillegg til at transport er energikrevende er det også andre grunner til at det kan være hensiktsmessig å begrense transportvolumet og flytte transporten til ikke-motoriserte transportmidler:

- Dersom transportvolumet øker i takt med befolkningsveksten og velstandsøkningen vil dette kunne skape økte framkommelighetsproblemer, spesielt i byene.
- En utbygging av infrastrukturen for å møte transportveksten med motorisert transport (spesielt privatbilen) vil kreve store arealer og medføre høye utslipp. Kollektive transportmidler og ikke-motorisert transport som sykkel og gange er mye mindre arealkrevende.
- En overgang til el- og hydrogenkjøretøy eliminerer utslippene av lokal forurensning fra dagens forbrenningsmotorer. Vei-, dekk- og bremseslitasje vil imidlertid fortsatt bidra til lokal luftforurensning. For å redusere luftforurensningen ytterligere må transportvolumet reduseres.
- Overgang til gange og sykling vil også bidra til forbedret folkehelse.
- Utskiftingen av kjøretøyparken tar tid og vil fortsatt kreve teknologisk modning for å dekke alle behovene (for eksempel større rekkevidde enn dagens elbiler og løsninger for tunge kjøretøyer). En satsing på flere utslippsreducerende tiltak er derfor viktig på veien mot 2050 for å redusere de **akkumulerte** utslippene over tid. Derfor er trafikkreducerende tiltak spesielt viktig på kort sikt (mens de fleste kilometer fortsatt kjøres med fossile drivstoff).
- Produksjon av et stort antall kjøretøy fører til utslipp og miljøbelastning i produksjonslandet.
- En ensidig satsing på teknologiske løsninger innebærer høy risiko dersom man ikke får til et gjennombrudd i den ønskede teknologiske utviklingen.

I dette kapittelet omtales tiltak og virkemidler som vil kunne redusere eller fjerne utslippene fra transportsektoren fram mot 2050. Vi har delt tiltakene inn i to hovedkategorier:

²⁹ Better Growth Better Climate, The Global Commission on the Economy and Climate, september 2014

1. Aktivitetstiltak: Tiltak som er trafikkreduserende eller som omfordeler aktiviteten mellom ulike transportformer (f. eks. fra personbil til sykkel).
2. Tekniske tiltak: Tiltak som påvirker utslipp per aktivitet (gram CO₂ per kjørte kilometer, gram CO₂ per driftstime)

4.4.3.2 Aktivitetstiltak

Aktivitetstiltak inkluderer både tiltak som reduserer transportomfanget og tiltak som fordeler transporten annerledes (f.eks. persontransport fra bil til kollektiv, sykkel eller gange; og godstransport fra veitransport til bane- og sjøtransport).

Redusert persontransport

Det er flere ting som kan bidra til å redusere omfanget av persontransporten, blant annet forbedret **areal- og transportplanlegging** som for eksempel kan gi mulighet til å utføre daglige oppgaver/gjøre mål uten å bruke bil. Fokusering av boligbygging rundt kollektivknutepunkter og plassering av store bedrifter, sykehus og lignende der kollektivtilgangen er god vil kunne gi et betydelig bidrag. Forskning viser at energibehovet til transport reduseres når befolkningen er mer konsentrert (flere innbyggere per km²) (TEMPO, 2014), det vil si at økt fortetting også har et potensial for å redusere transportbehovet. Et **forbedret kollektivtilbud** med hyppige avganger, lett tilgjengelig informasjon om reisen og god komfort vil øke konkurranseevnen til kollektivtransport betydelig. Også **IT-løsninger** som reduserer reisebehovet (hjemmekontor, videokonferanser) kan gi store reduksjoner av transportmengden og er mulig å innføre relativt raskt.

Det gjennomsnittlige personbelegget i en bil sank fra 1,83 i 1990 til 1,7 i 2009, det vil si at det i snitt var 1,7 personer i en bil i 2009 (Klif, 2013b). Ved å **øke personbelegget** kan man redusere antall kjøretøy-km³⁰, med andre ord antall kilometer kjørt med bil, uten å måtte redusere antall person-km³¹, med andre ord antall personer som har forflyttet seg et visst antall kilometer. Et mulig virkemiddel for å øke personbelegget er innføring av en egen fil på større veier som kun kan benyttes med biler med minst 2 personer. Utover dette vil **restriktive virkemidler** kunne begrense transportetterspørsel, for eksempel gjennom økte priser på bilbruk, flyreiser og lignende. Ved en slik tilnærming er målsetningen at etterspørselen skal tilpasses til infrastrukturen istedenfor at infrastrukturen tilpasses etterspørselen. Et eksempel på dette er en innføring av økte bompriser på veistrekninger der man vurderer å bygge ut kapasiteten. Økte kostnader for bruk av veien vil kunne redusere trafikkmengden og dermed gjøre det overflødig å øke kapasiteten på veien. En **reduksjon av unødvendig utbredt bilhold** er også viktig, se faktaboks under. Økte priser på bilhold og -bruk sammen med støtte til fordelingsordninger kan bidra til en slik utvikling.

For å stimulere til en overgang til sykkel og gange kan man blant annet innføre **bilfrie bykjerne** og **forbedre og utvide sykkelveinettet**. El-sykler egner seg godt for mange daglige reiser og vil kunne stå for en betydelig del av de daglige reisene i 2050.

I den svenske rapporten *Fossilfrihet på väg* (Näringsdepartementet, 2013) ble effekten av ulike transportreduserende virkemidler anslått:

- Økt tetthet (innboer/km²) med 10 prosent reduserer personbil-kilometer med 1-3 prosent
- God funksjonsblanding av bolig, arbeidsplasser og service (butikker etc.) reduserer bilbruken med 5-15 prosent

³⁰ Kjøretøy-km er et mål på trafikkarbeid, altså antall kjøretøy*antall km. Det tas altså ikke hensyn til antall personer som befinner seg i kjøretøyet. En bil som kjører 4 km har utført et trafikkarbeid på 4 kjøretøy-km uavhengig av hvor mange personer som satt i bilen.

³¹ Person-km er et mål på transportarbeid, altså antall personer*antall km. En bil med 5 personer som kjører 4 km har utført et transportarbeid på 20 person-km.

- Forbedret tilrettelegging for sykkel og gange kan redusere bilbruken med 5-15 prosent
- En halvering av kollektivreisetiden mer enn doblet andelen som benyttet seg av kollektivtransport

Bil - eie eller bare bruke?

Bilhold påvirker transportadferd - har man en bil, så bruker man bilen. En gjennomsnittlig bil står ubrukt rundt 95 % av tiden. Bildelingsordninger, som nå finnes i seks norske byer og har vokst i omfang de siste årene, fører til både mindre bilbruk og økt utnyttelse av biler. En bilpoolbil kan normalt erstatte 5 privatbiler (Næringsdepartementet, 2013).

Dersom man velger å eie bil er det ut ifra et ressursperspektiv hensiktsmessig at denne er tilpasset det daglige behovet istedenfor å være dimensjonert til årets lengste tur. De fleste klarer seg med en liten bil med begrenset rekkevidde i hverdagen, men i dag kjøpes likevel ofte en bil som egner seg til hytte- eller ferieturen med lang distanse og mye bagasje. Med en liten hverdagsbil og bildeleordninger eller bilutleie til turene der det trengs en større bil/rekkevidde, ville det totale ressursbehovet for persontransporten blitt redusert betydelig. I tillegg vil slikt bilhold gjøre det enklere å implementere batteri-elektriske biler, siden mange av dagens elbiler fungerer bra til hverdagsbruk, men ikke dekker "hyttebil-behovet" ennå.

Redusert godstransport på vei

Aktivitetstiltak som kan redusere utslipp fra godstransport kan være tiltak som effektiviserer transporten for eksempel ved å **redusere tomkjøringsprosenten og forbedre samtransporten**, eller tiltak som **omfordeler transporten fra veitransport til sjø- eller banetransport**. I forbindelse med NTP 2018-2027 er det iverksatt en bred godsanalyse som vil se på mange av disse tiltakene. Tomkjøringsprosenten var i 2010 på rundt 25 prosent og har hatt en nedgang fra 29 prosent i 1996 (SSB, 2013b). Det er uklart hvorvidt det er praktisk mulig å **redusere tomkjøringsandelen** betydelig fra dette nivået. Varetransporten kan effektiviseres ved å **forbedre samtransporten**, altså for eksempel planlegge transporten slik at virksomheten får alle leveransene sine med en varebil, istedenfor at det er mange varebiler som leverer hver sitt produkt.

En **overføring av godstransport fra vei til bane** vil kreve flere tiltak både på norsk side og utenfor våre grenser. Av tiltak i Norge kan nevnes kapasitetsøkning på godsterminaler (særlig Alnabru), utbygging av flere lange kryssningsspor, utbedring av jernbanespor for økt aksellast og elektrifisering på aktuelle godspendelstrekninger.

Økt kapasitet vil imidlertid ikke automatisk gi overføring av transportarbeid dersom det ikke finnes en etterspørsel etter transporttjenesten. For å stimulere overføringen må økt kapasitet på jernbanen og på sjø kombineres med virkemidler som f.eks. veiprising eller reduserte terminalkostnader. Det har vist seg at konkurranseflaten mellom sjø og bane er betydelig sterkere enn mellom sjø/bane og veitransport, slik at en ensidig satsing på tilrettelegging av godstransport med skip hovedsakelig fører til en overføring av gods fra jernbane til sjø, istedenfor fra vei til sjø.

Redusert bruk av andre mobile kilder

For kategorien anleggsmaskiner og landbruksmaskiner vil aktiviteten i stor grad avhenge av den økonomiske utviklingen, investeringene i infrastruktur og jordbrukspolitikken. Vi har derfor i denne utredningen ikke sett på aktivitetsreduserende tiltak i denne kategorien.

4.4.3.3 Tekniske tiltak

I dette underkapittelet gir vi først en kort oversikt over ulike teknologier før vi beskriver hvilke løsninger som vi anser som sannsynlig for persontransport, godstransport og andre mobile kilder.

Framdriftsteknologi, energibærere og infrastruktur

Det er to hovedkategorier for framdriftsteknologi i kjøretøy:

- Forbrenningsmotor (fossil diesel, bensin, gass, marine dieseloljer, biodrivstoff etc.)
- Elektromotor (elbiler, el-ferger, hydrogenbiler med mer)

Forbrenningsmotor

Det er i hovedsak tre typer energibærere som benyttes i forbrenningsmotorer: bensin, diesel og gass. Disse kan stamme fra fossile kilder, produseres fra biomasse (biodiesel, bioetanol, biogass) eller produseres syntetisk. Syntetisk drivstoff kan benytte fossile råvarer eller biomasse/fornybare ressurser som utgangspunkt for produksjonen. Fordelen med nullutslippsdrivstoff som kan brukes i kjøretøy med forbrenningsmotor er at dagens infrastruktur i stor grad kan benyttes (både kjøretøyene og fyllestasjoner med mer), selv om det må gjøres noen tilpasninger.

En forbrenningsmotor er laget for å benytte en spesifikk drivstofftype (bensin, diesel eller gass). I tillegg kan motorene benytte ulike mengder biodrivstoff. En gassmotor vil kunne benytte fossil gass (LNG eller CNG), biogass (LBG eller CBG) eller en blanding av disse to. Per i dag finnes det relativt få personbiler som benytter gass, mens det finnes en del flåtekjøretøy (lastebiler, busser) som benytter dette drivstoffet. Innenfor skipsfart er LNG i økende bruk: Globalt seiler det ca. 50 skip med LNG som drivstoff, 44 av disse i Norge, og andelen øker eksponentielt.

Biodrivstoff

Biodrivstoff er en samlebetegnelse for drivstoff som er produsert av biomasse. Oljer fra planter og avfall kan bli til biodiesel, mens sukker og stivelse kan omgjøres til etanol. Biogass kan produseres av alle typer biomasse ved hjelp av anaerob utråtning. De mest vanlige typene biodrivstoff på det norske markedet er biodiesel produsert av raps, bioetanol produsert av sukkerroer, mais og soya, og biogass produsert av våtorganisk avfall.

Man skiller gjerne mellom førstegenerasjons biodrivstoff som er laget av råstoff som kunne ha blitt brukt til mat og mer avansert biodrivstoff (andre- eller tredjegerasjons) som er produsert av råvarer som ikke er mat (brukt fritureolje, alger, skogsavfall, trær med mer). Norge har innført bærekraftskriterier for biodrivstoff (og flytende biobrensler) slik de er beskrevet i EUs fornybardirektiv (se faktaboks). Disse skal hindre at produksjonen av biodrivstoff fører til negative effekter som avskoging og reduksjon av biomangfold, og bidra til at biodrivstoffet som omsettes gir en reell reduksjon av klimagassutslipp sammenliknet med fossilt drivstoff. Det er hovedsakelig førstegenerasjons biodrivstoff som har utfordringer rundt bærekraft, mens problematikken er betydelig redusert for biodrivstoff som lages av råvarer som ikke kan brukes som matvarer, for eksempel avfall og rester.

Mens produksjon av førstegenerasjons biodrivstoff er en moden teknologi med en veletablert verdikjede, er teknologien og industrien rundt mer avanserte typer biodrivstoff mindre moden. Det trengs både forskning og utvikling og markedsstimulerende virkemidler for å utvikle disse verdikjedene.

En bil/lastebil med dieselmotor er garantert fra produsenten å kunne kjøre på førstegenerasjons-biodiesel-innblanding opptil 7 prosent (B7) uten at det kreves tilpasninger av kjøretøyet. I tillegg finnes det kjøretøy som kan benytte høyere innblanding (f.eks. B33) eller rent biodrivstoff (B100). Alle bensinmotorer kan benytte inntil 5 prosent bioetanol-innblanding i bensin (E5). Biler som er produsert i 2000 eller senere kan benytte opp til 10 prosent bioetanol-innblanding (E10) (JRC, 2014). Ved innblandinger over 10 prosent kreves tilpasninger. Fuelflex-biler kan kjøres med

bioetanol-innblanding opptil 85 prosent (E85). En del busser og lastebiler er tilpasset høyinnblandet biodiesel (B33 eller B100), bioetanol (B85) eller biogass.

Siden 2009 er det tillatt å benytte opptil 50 prosent biojetfuel innblandet i fossilt jetfuel i alle regulære sivile flygninger. De fleste skipsmotorer vil også kunne benytte ulike mengder biodrivstoff.

Bærekraftskriterier for biodrivstoff

Det har de siste årene vært mye diskusjon rundt den faktiske klima- og miljøgevinsten ved å anvende biodrivstoff. Grunnen til dette er både at det oppstår en del utslipp knyttet til produksjonen av biodrivstoffet (dyrking, raffinering, transport), og at dyrkingen av råstoffene kan fortrenge matproduksjon eller ødelegge områder med høy biodiversitet eller et høyt karbonlager.

Gjeldende bærekraftskriterier

Fra januar 2014 har Norge innført bærekraftskriterier for biodrivstoff slik de er beskrevet i Fornybardirektivet (2009/28/EF). Hovedelementene i kriteriene er:

- Krav til reduksjon av klimagassutslipp: Klimagassutslipp fra biodrivstoff og flytende biobrensel skal gi en reduksjon på minst 35 % sammenliknet med fossilt drivstoff i et livsløpsperspektiv. Dette kravet økes til 50 % fra 2017 og deretter til 60 % fra 2018.
- Arealkriterier: Hovedinnholdet i disse er at områder som er viktige for biodiversitet og områder som lagrer mye karbon ikke kan brukes til produksjon av bærekraftig biodrivstoff og flytende biobrensel.

Indirekte arealbruksendringer

Gjeldende bærekraftskriterier klarer ikke å forhindre det som betegnes som indirekte arealbruksendringer (indirect land use changes, ILUC), der enkelte råstoff til biodrivstoff fortrenger dyrkingen av mat i et område, som da fører til at matproduksjonen flyttes til et område med høy biodiversitet eller et høyt karbonlager. Det har vært diskutert, men så langt ikke blitt enighet i EU om, endringer av bærekraftskriteriene for å ivareta indirekte arealbruksendringer. Det har blant annet vært foreslått et 7 %-tak på hvor stor andel biodrivstoff basert på stivelse, sukker og oljer som får bidra til å oppfylle fornybardirektivets 10 %- mål innen transport. Risikoen for indirekte arealbruksendringer er lavere ved anvendelse av biodrivstoff som er produsert av avfall eller rester.

Syntetisk drivstoff

Syntetisk framstilt drivstoff kan for eksempel produseres med metangass som utgangspunkt. Metangassen kan være fossil naturgass, biogass eller syntetisk metangass som er produsert via hydrogen. Hydrogen kan produseres fra vann ved hjelp av elektrolyse (for mer detaljer se vedlegg 4 om hydrogen). Hydrogen kan så reagere med CO₂ og danne metangass. Metangassen blir deretter omdannet til lange karbonkjeder slik at man til slutt ender opp med et produkt som tilsvarer fossil diesel eller bensin.

Syntetisk drivstoff er ennå en umoden teknologi. Ulempene med syntetisk drivstoff er relativt høye kostnader og lav virkningsgrad gjennom produksjonskjeden med dagnes teknologi. Fordelen er at dagens kjøretøy og fyllestasjonene kan benyttes uten tilpasninger. I sin lavutslippsrapport (UBA, 2014) ser det tyske Miljødirektoratet (Umwelt Bundesamt) for seg at store deler av den tyske transportsektoren kjører på syntetisk drivstoff, laget ved hjelp av elektrolyse, i 2050. Vi har ikke utredet tiltak der fossilt drivstoff erstattes med slike syntetisk drivstoff både fordi dette er vanskelig å kostnadsberegne og fordi produksjonen er svært energikrevende. Storskala produksjon globalt vil kreve enorme mengder ny fornybar elektrisitetsproduksjon, gitt dagens virkningsgrad i produksjonskjeden.

Hybridkjøretøy

I tillegg til kjøretøy med forbrennings- eller el-motor finnes det hybridløsninger som kombinerer disse teknologiene. Hybridkjøretøy har både en el-motor og en forbrenningsmotor. Batteriet lades opp ved bremsing og via forbrenningsmotoren, og fungerer som et midlertidig energilager. Batteriene lades bare med energi fra forbrenningsmotoren eller fra bremsekreftene under kjøring, slik at en vesentlig del av kjøringen skjer på fossilt drivstoff. Plug-in-hybrider har i tillegg muligheten til å lade opp batteriet via en ledning. Drivstofforbruket per kilometer vil være betydelig lavere i en plug-in-hybridbil enn i en hybridbil uten plug-in-mulighet.

Hybridteknologi er spesielt gunstig for motorer som har varierende belastningsgrad, for eksempel biler som brukes mye i tett trafikk (stop-and-go-kjøring) og ferger, offshore-skip og slepebåter.

Elektrisk motor

Elektriske kjøretøy deles i to underkategorier basert på type energilagring; batteri-elektriske kjøretøy og hydrogenbiler. **Batteri-elektriske kjøretøy ("elbilen", EV)** har et batteri som lades via en strømledning. Strøm fra batteriet driver kjøretøyet via en elektromotor. I en **hydrogenbil ("fuel-cell electric vehicle", FCEV)** er energien lagret i hydrogen (H_2). Hydrogen benyttes så til å produsere strøm i kjøretøyet og strømmen benyttes i en elektromotor. Hydrogen kan være produsert basert på metangass (fossil naturgass eller biogass) eller via elektrolyse av vann (for mer informasjon om hydrogen se vedlegg 4).

Utfordringen med dagens batterielektriske biler er at rekkevidden er begrenset av batterikapasiteten. Det er flere mulige løsninger på dette:

- Bedre batterier med høyere kapasitet og/eller lavere vekt kan gi økt rekkevidde
- Et godt utbygd nettverk med hurtigladdestasjoner gjør at man kan lade under relativt korte stopp på veien (20-30 minutter - kan for eksempel kombineres med en matpause, handling osv.)
- Ved hjelp av induksjon, el-skinner eller pantografledninger³² kan kjøretøyet lades mens det er i bruk
- Hydrogen kan fungere som en "range-extender" i batteri-elektriske kjøretøy

Batterielektrisk drift er en relativt moden teknologi for mindre personbiler. Som nevnt i kapittel 2 er det mye som tyder på at elbilen vil kunne konkurrere med diesel- og bensinbiler også uten subsidier om få år - spesielt i småbilsegmentet. For å utvide anvendelsen til flere områder (større og tyngre personbiler som skal kjøre lenger) trengs det fortsatt en del forskning og utvikling, men de første kjøretøyene er på markedet også i disse segmentene. I tillegg er det viktig at etterspørselen blir høy nok til å kunne utnytte stordriftsfordeler og dermed redusere prisen på teknologien.

(Fulton & Bremson, 2014) har analysert mulighetene for en rask innfasing av batterielektriske-, plug-in-hybrid- og hydrogenbiler i de nordiske landene og mener at disse landene bør ta en lederrolle i innfasingen av slike biler. Dette begrunnes med at vår økonomi gir mulighet for å kunne tåle høyere kostnader i en innfasingsperiode og fordi spesielt Norge har høye engangsavgifter ved nybilkjøp, slik at det enkelt kan tilrettelegges for avgiftslette for biler med lave utslipp. Det forventes at den totale kostnaden for samfunnet ved rask innfasing av slike biler blir veldig lav fordi lave driftskostnader oppveier for noe høyere investeringskostnader.

³² Strømavtaker på taket av kjøretøyet for å gi kontakt med strømførende ledninger over veien

Hydrogendrift på kjøretøy har lenge vært ansett som "rett rundt hjørnet". De siste årene har det blitt bygget et lite antall hydrogenladestasjoner i Norge og det er noen få hydrogenbiler på norske veier. Det ser ut til at det ikke er teknologisk umodenhet, men heller høye kostnader og manglende infrastruktur som er barrierene som hindrer storskala innføring av hydrogenbiler.

Elektriske motorer kan også brukes i tyngre kjøretøy som buss og lastebil, enten som batteri-elektriske kjøretøy eller som hydrogenkjøretøy. I Norge er det allerede noen hydrogenbusser i drift, og i Sverige er det helelektriske busser i drift. Spesielt bussene og lastebilene som benyttes til lokal transport med faste ruter og faste ladestasjoner vil kunne erstattes med hydrogen- eller el-kjøretøy relativt raskt og enkelt. For å konvertere langdistansebussene og lastebiler vil det kreves større investeringer i infrastruktur og/eller mer teknologiutvikling, se omtale av pantograf-ledninger, el-skiner og induksjon lenger nede ("Infrastrukturbehov for de ulike teknologiene").

For de store maskinene som anleggsmaskiner og traktorer er en blanding av elektrisk- og hydrogendrift mulig. Allerede i dag er en del av maskinene som benyttes i gruver og tunneller hybrid- eller helelektriske maskiner, hovedsakelig av hensyn til arbeidsmiljøet. Hvilken av teknologiene (el- eller hydrogendrift) som benyttes av disse maskinene i 2050 vil være avhengig av teknologiutvikling, men også av bruksområdet: Anleggsmaskiner som benyttes til boligbygging vil for eksempel ha bedre tilgang på elektrisitet enn de som benyttes til veibygging i spredtbygde områder, der hydrogendrift kan være mer hensiktsmessig. Fordi el-drift samtidig eliminerer mange av de helsefarlige utslippene fra forbrenningsmotoren er det også viktigst å få skiftet ut maskinene som benyttes i tettbygde strøk tidligst mulig. De mindre maskinene og kjøretøyene som båter og snøscooter kan allerede i dag i stor grad benytte batterielektrisk drift.

Batteridrift i skipsfarten er av nyere dato, men interessen har økt betydelig de siste to årene. Full-elektriske skip og hybridskip med dieselmotorer og energilagring i store batterier kan gi betydelige reduksjoner i drivstoffkostnader (typisk 20 prosent for et offshore forsyningskip med hybrid-drift), vedlikehold og utslipp, samt forbedret fartøyrespons, regularitet og sikkerhet i kritiske situasjoner. Batteridrift vil også være fordelaktig for gassbaserte løsninger (LNG-skip), spesielt i lavkraftområdet der man har problemer knyttet til metanutslipp og lav kostnadseffektivitet. Gass i kombinasjon med batteridrift er spesielt relevant i nordområdene der miljørisikoen vil være betydelig med tradisjonelt drivstoff. I dag er det to batteridrevne offshore forsyningskip i drift samt ett forsyningskip og ett meget avansert dyptvann-konstruksjonsskip under bygging. I tillegg er det sju hybridferger, sju hybrid-taubåter og en hybrid-fiskebåt i drift.

Per i dag kan skip/ferger som anløper faste steder hyppig benytte helelektrisk drift (ca. 60 minutters brukstid, 5-10 minutters lading). Når batteriteknologien blir bedre vil det være mulig å benytte denne teknologien også på skip som skal kjøre lengre. Det er også noen demo-prosjekter der solceller benyttes til å lade batteriene på skipet.

[Infrastrukturbehov for de ulike teknologiene](#)

En storskala overgang til **batteri-elektriske kjøretøy** eller plug-in-hybridbiler vil kreve investering i ladestasjoner, både sakteladende og hurtigladende stasjoner. Ladepunkter for personbiler bør opprettes i tilknytning til arbeidsplasser, kjøpesenter, på offentlige og private parkeringsplasser og i tilknytning til boliger. Dette vil kreve oppgraderinger av kraftnettet enkelte steder. På steder der kraftnettet per i dag setter begrensningen for hurtigladestasjoner er det mulig å sette opp bufferbatterier som sakte-lades fra nettet over lengre tid, men som kan levere hurtiglading til kjøretøy ved behov. Dersom også tunge kjøretøy med stor rekkevidde skal drives med batteri-elektrisk teknologi vil det sannsynligvis være behov for betydelige infrastrukturinvesteringer for induksjonslading via kjørebanelen eller direkte lading via pantografledninger eller el-skiner. Ved

direkte lading kreves fysisk kontakt mellom kjøretøyet og en el-skinne i kjørebanen eller en luftledning over kjøretøyet som kobles til kjøretøyet via en pantografledning. For induktiv strømovertøring kreves ingen fysisk kontakt mellom kjøretøyet og veibanen, avstanden mellom strømkilden og kjøretøyet kan være på 10-15 cm. Induktiv lading vil også fungere ved is- eller snølagt veibane, mens en el-skinne for direktelading må være is-fri for å fungere tilfredsstillende. For skip med elektrisk drift må det tilrettelegges for lading i havneområdene.

En storskala overgang til **hydrogen-kjøretøy** krever at det settes opp hydrogenladestasjoner. Hydrogen kan enten lages "on site" eller produseres sentralt og så transporteres til ladestasjonene (enten med lastebil eller i rørledninger).

Ved en betydelig økning fra dagens omsetting av **biodrivstoff** kreves investeringer i infrastruktur, men behovet vil avhenge av omfanget av biodrivstoffinnblanding og type biodrivstoff (se tiltaksutredningen for flere detaljer).

Teknologiske løsninger for framtidens persontransport

For persontransport er det flere tekniske løsninger som kan bidra til å oppnå nullutslipp i 2050, i tillegg til aktivitetstiltakene som er beskrevet tidligere (reduert transportbehov og overgang til ikke-motorisert transport som sykkel og gange): Personbilene kan benytte nullutslippsteknologi (elbiler eller hydrogenbiler). Også de kollektive reisene med buss, trikk, tog og ferger vil sannsynligvis kunne ha nullutslipp i 2050 ved hjelp av batteri- eller hydrogendrift eller avansert biodrivstoff. Fly vil kunne benytte biodrivstoff, mens det er usikkert om hydrogen og elektrisk drift vil være aktuelle her. Som beskrevet tidligere er det per i dag tillatt å benytte opp til 50 prosent innblanding av biojetfuel til sivile flyvinger. En kan forvente at denne begrensningen vil opphøre når mer erfaring er vunnet. For at flyreisene skal gi nullutslipp trenger flyene å benytte rent biodrivstoff, noe som ikke er usannsynlig innen 2050.

Teknologiske løsninger for framtidens godstransport

Godstransporten kan grovt sett deles i to undergrupper: Lokal transport og langtransport. For *lokal transport* er det veitransport som per i dag er dominerende og vi forutsetter at det vil være slik også i 2050, selv om det er mulig å se for seg andre transportløsninger (underjordiske rullebånd, droner etc.). Jernbanetransport er mindre effektivt over korte transporter på grunn av at det normalt er et behov for omlasting til lastebil i begge ender. Godstransport på jernbane over korte avstander har likevel sin nisje der det er store volumer som skal transporteres i fast rute mellom to bestemmelsessteder. Ett eksempel er malm fra gruver som skal skipes ut via en havn eller der råstoffet skal benyttes direkte i en industribedrift. Kjøretøyene som benyttes til lokal varetransport vil mange steder relativt enkelt kunne konverteres til nullutslippsteknologi allerede lenge før 2050. Siden det her hovedsakelig er flåtekjøretøy som kjører mer eller mindre faste ruter og som kan benytte samme tankstasjon hver dag, vil overgang til nye drivstoff være enklere og rimeligere her enn for tunge kjøretøy som kjører lengre distanser og som ikke har muligheten til å fylle drivstoff på samme sted hver dag. For den lokale godstransporten vil derfor batterielektrisk drift, hydrogendrift og biogass kunne spille en betydelig rolle.

For *langtransport* er bane- og sjøtransport ofte et aktuelt alternativ til veitransport. Disse transportformene kan, avhengig av fyllingsgraden, være mer energieffektive og ha lavere utslipp enn veitransport per i dag. På kort sikt er det derfor viktig å overføre gods til sjø og bane i den grad det er mulig. I 2050 vil alle tre transportformene kunne benytte nullutslippsteknologi (i større eller mindre grad): skip kan sannsynligvis benytte batteri-elektrisk drift eller hydrogen. Jernbanen kan allerede i dag drives med elektrisitet, så en elektrifisering av de gjenstående dieselstrekningene er kun et kostnadsspørsmål. Som nevnt tidligere er det teknisk mulig å elektrifisere også de tunge

kjøretøyene som skal kjøre langt, men da må det tilrettelegges for lading under kjøring enten ved hjelp av pantografledninger (en strømvaktar på taket av kjøretøyet for å gi kontakt med strømførende ledninger over veien), el-skiner i kjørebanen eller induksjon, med mindre batteriteknologien utvikles slik at rekkevidden ikke blir en begrensning lenger. Dette vil kunne kreve betydelig investering i infrastruktur på veiene. Her er det også viktig med harmonisering på tvers av landegrensene siden mye av langtransporten krysser Norges grenser. Ved en overgang til hydrogendrift på tunge kjøretøy kreves mindre infrastrukturbygging (fyllestasjoner istedenfor lade-infrastruktur langs hele veien). Både skip og tunge kjøretøy vil også kunne benytte biodrivstoff. Siden det per i dag er noen utfordringer knyttet til den totale miljøeffekten av biodrivstoff (se tidligere omtale av dette, blant annet faktaboks "Bærekraftskriterier for biodrivstoff"), bør mengden biodrivstoff som benyttes til transport ikke øke betydelig på kort sikt. Mer avansert biodrivstoff (andre- eller tredjegenarasjon) har færre bærekraftsutfordringer knyttet til seg, slik at det på lengre sikt antas å være mindre kontroversielt å benytte større mengder biodrivstoff.

4.4.3.4 Oppsummering transport 2050

Transportsektoren kan, innen 2050, bli nærmest utslippsfri. Avhengig av teknologisammensetningen vil ressurstilgangen kunne bli en begrensende faktor, spesielt for biomasse til biodrivstoffproduksjon. For å klare å redusere utslippene til null kreves fortsatt en betydelig teknologiutvikling. Her kan Norge spille en viktig rolle ved å implementere nye teknologier tidlig og gjennom å være villig til å investere i infrastrukturen som trenger å være på plass for at forbrukerne er villig til å skifte fra fossile kjøretøy til nullutslippskjøretøy. Siden det er uklart hvorvidt én teknologi blir markedsdominerende vil dette kreve at det bygges opp infrastruktur for flere teknologier parallelt (elbil-ladestasjoner, hydrogenpumper, biodrivstoff-fyllestasjoner). Ut ifra dagens kunnskap er det sannsynlig at det vil være en blanding av disse teknologiene som vil dekke ulike transportbehov i 2050.

Likevel er Norge et lite land og vår markedspåvirkning er begrenset, slik at de store sprangene i teknologiutvikling og prisreduksjoner (som følge av stordriftsfordeler) vil påvirkes i stor grad av valg som tas i andre land. Hvordan transportvolum og -fordeling utvikler seg framover er derimot et område der hvert land har større innflytelse på sin egen framtid. Her er spesielt god areal- og transportplanlegging viktig for å tilrettelegge for at befolkningsveksten ikke fører til en tilsvarende stor økning i transportbehov, for eksempel ved å plassere nye boliger i nærheten av kollektivknutepunkter. Innføring av bilfrie bykjerter og forbedring av kollektivtilbudet og sykkelveier vil også føre til redusert bruk av personbil på mange korte turer. I tillegg vil for eksempel økt bruk av hjemmekontor og videomøter kunne redusere transportbehovet.

For **persontransport** er det i hovedsak tre spor som er viktig å følge på veien til lavutslippssamfunnet: En reduksjon av transportomfanget, en overgang fra motorisert til ikke-motorisert transport, og en reduksjon av utslipp per person-km (både for bil, buss, ferge og fly). Ut ifra dagens kunnskap virker det fullt mulig at all persontransport kan foregå uten klimagassutslipp fra kjøretøy i 2050 (0 g/km). Personbilene kan benytte nullutslippsteknologi (elbiler eller hydrogenbiler). Også de kollektive reisene med buss, trikk, tog og ferger vil sannsynligvis kunne ha nullutslipp ved hjelp av batteri- eller hydrogendrift. Fly kan benytte biodrivstoff, mens det er usikkert om hydrogen og elektrisk drift vil være aktuelle her.

For å redusere utslippene fra **godstransport** er det hovedsakelig to muligheter: Overføring av gods fra en transportform med høye utslipp til en transportform med lavere utslipp per tonn-km, og en reduksjon av utslipp per tonn-km (inklusive effektiviseringstiltak som reduserer tomkjøringsprosenten/øker fyllingsgrad). I tillegg vil selvfølgelig en reduksjon av godsmengdene

kunne redusere utslippene, men dette er ikke analysert i denne rapporten. Det er mulig at nye teknologier som for eksempel 3D-printing vil endre behovet for godstransport dramatisk, men dette er heller ikke utredet her. Godstransporten kan grovt sett deles i to undergrupper: lokal transport og langtransport. For *lokal transport* er det veitransport som per i dag er dominerende og vi forutsetter at det vil være slik også i 2050. Her vil batterielektrisk drift, hydrogendrift og biogass kunne spille en betydelig rolle. For *langtransporten* er bane- og sjøtransport ofte et alternativ til veitransport. I 2050 vil alle tre transportformene kunne benytte nullutslippsteknologi: Skip kan sannsynligvis benytte batterielektrisk drift eller hydrogen og jernbanen kan drives med elektrisitet. Som nevnt er det teknisk mulig å elektrifisere også de tunge kjøretøyene som skal kjøre langt, men da må det tilrettelegges for lading under kjøring enten ved hjelp av pantografledninger (en strømvakt på taket av kjøretøyet for å gi kontakt med strømførende ledninger over veien), el-skiner eller induksjon, med mindre batteriteknologien utvikles slik at rekkevidden ikke blir en begrensning lenger. Dette vil kreve betydelig investering i infrastruktur på veiene. Ved en overgang til hydrogendrift på tunge kjøretøy kreves mindre infrastrukturbygging. Både skip og tunge kjøretøy vil også kunne benytte ulike typer biodrivstoff.

Dersom alle tre transportformene (vei, sjø, bane) benytter nullutslippsteknologi vil transportformer med lavt energibruk og lavt arealbehov være mest gunstig. I tillegg vil det kunne være behov for å satse på flere transportformer inntil teknologi og infrastruktur er tilstrekkelig modent og robust.

For **andre mobile kilder** som anleggsmaskiner og traktorer vil utslippsreduksjoner ved hjelp av nullutslippsteknologi (batteri- eller hydrogendrift) være viktigst, men biodrivstoff kan også gi betydelige utslippsreduksjoner i denne sektoren.

Risikofaktorene som kan gjøre det vanskeligere/dyrere eller umulig å nå nullutslipp i transportsektoren inkluderer følgende:

- Sen/manglende teknologiutvikling (hydrogen, batteri-elektrisk, avansert biodrivstoff)
- Utilstrekkelig/lite samordnet areal- og transportplanlegging som gir en infrastruktur som krever mye transport med bil og et stort transportbehov
- Sterkere befolkningsvekst enn antatt
- Ressurstilgang, spesielt for biomasse
- Økonomisk utvikling kan trekke i begge retninger: På den ene siden kan høy økonomisk vekst bidra til større transportvolum, mens på den andre siden kan økonomisk vekst gi handlingsrom til å investere i ny teknologi og infrastruktur

Scenarier for transportsektoren i 2050

Vegdirektoratet og Miljødirektoratet har samarbeidet om scenarier, backcasting og innhenting av ekspertråd fra et bredt spekter av aktører (bl.a. en delphistudie). I denne prosessen har vi kartlagt mulighetsrommet og risiko knyttet til framtidig utvikling og sett på sammenhenger på tvers av sektorgrenser. Funnene oppsummeres i et eget fagnotat.

4.4.3.5 Energikonsekvenser i 2050

Hvordan energietterspørselen fra transportsektoren blir i 2050 avhenger i stor grad av hvilken teknologi som vil være dominerende. Ved en høy grad av elektrifisering av transporten vil naturligvis kraftbehovet bli høyt og behov for flytende drivstoff lavt. Fordi el-motoren har en høy virkningsgrad vil det totale energibehovet bli betydelig redusert sammenlignet med et system som er basert på forbrenningsmotorer med en lav virkningsgrad. Dersom hydrogen blir den dominerende teknologien vil kraftbehovet bli betydelig høyere enn dersom batterielektriske kjøretøy dominerer kjøretøyparken, fordi den totale virkningsgraden reduseres i hydrogenproduksjonen (elektrolyse +

komprimering). Dersom det viser seg at avansert biodrivstoff blir den dominerende teknologien for flere av transportsektorene vil dette kreve betydelige biomasseressurser.

4.4.4 Tiltaksanalyse mot 2030

4.4.4.1 Innledning

Som nevnt tidligere deler vi tiltak som påvirker utslippet fra transportsektoren i to hovedkategorier: Aktivitetstiltak og tekniske tiltak. Effekten av tiltak i disse kategoriene vil være delvis overlappende, det vil si at for eksempel effekten av et tiltak som reduserer antall kilometer kjørt med personbil vil være mindre dersom man samtidig har klart å redusere det gjennomsnittlige utslippet per kilometer. I tiltakspakkene som presenteres i det neste kapittelet er det tatt hensyn til dette overlappet, men det er viktig å huske på at tiltak som presenteres i dette kapittelet ikke kan summeres.

I tillegg til tiltakene som er omtalt nedenfor vil for eksempel økokjøring og redusert fart kunne redusere utslippene fra transport. Det er også en del teknologiske løsninger innen ITS som forventes å komme på markedet i løpet av noen få år og som vil kunne gi utslippsreduksjoner. Et eksempel på dette er biler som kommuniserer med lyskryss og dermed kan gi informasjon til sjåføren om optimal hastighet for å komme fram ved lyskrysset når det blir grønt lys, slik at drivstofforbruket minimeres. Andre slike løsninger inkluderer platooning³³ og selvkjørende kjøretøy. På grunn av stor usikkerhet rundt størrelsen på utslippsreduksjonene ved slike tiltak, er disse ikke inkludert videre.

Videre er det ikke tatt hensyn til eventuelle "rebound-effekter", der for eksempel lave brukskostnader for elektriske biler kan føre til økt bruk av bilene. Det er heller tatt hensyn til at trafikkreduserende tiltak vil kunne føre til et redusert bilhold.

4.4.4.2 Aktivitetstiltak

Aktivitetstiltak er ikke bare trafikkreduserende tiltak, men også omfordelingstiltak. Aktivitetstiltak er spesielt viktige med tanke på forventet vekst i byene. Tiltakene vil både redusere framtidige utslipp og forbedre framkommelighet og trafiksikkerhet.

I dette prosjektet har det vært et ønske å analysere effekten av slike tiltak ved hjelp av transportmodellene som benyttes i NTP-arbeidet. Dessverre har det vist seg at disse analysene ikke er klare i tide til å kunne inkluderes i denne rapporten. Resultatene fra disse analysene vil derfor først presenteres i fase 3-rapporten som ferdigstilles til februar 2015.

Uansett er det krevende å kostnadsfeste aktivitetsendringer - mange slike tiltak er motivert ut fra andre forhold enn å redusere nasjonale klimagassutslipp. Eksempelvis er det forventet sterk befolkningsvekst i byene våre (40 prosent i Oslo fram mot 2040). Dersom alle de nye byboerne skulle bruke bil til jobb ville veinettet bli ufremkommelig og det ville føre til forverring av luftkvaliteten veinært. Dessuten blir det snevert å gjøre partiell kostnadsanalyse av noe som egentlig dreier seg om arealplanlegging - hvor vi bor, hvor vi jobber og hvor vi har barnehager, skoler og helsevesen. Derfor har vi gjort noen helt enkle beregninger som illustrerer hvor stor utslippsreduserende effekt det kan ha om vi eksempelvis tar veksten i persontransporten i de største byområdene med kollektiv, sykkel og gange. Måten dette gjennomføres på vil i praksis ha mye å si for kostnadene: Lykkes vi i å gjennomføre dette ved hjelp av smartere areal- og transportplanlegging, vil det

³³ En spesiell type kolonnekjøring der bilen "kobles" til kjøretøyet foran, og avstand, fart, bremsing og annet gjøres automatisk. Kjøretøyene er ikke fysisk koblet sammen, men kommuniserer med hverandre. Den jevne farten kan redusere drivstofforbruket.

antakelig lønne seg for samfunnet. Dersom vi derimot må tvinge gjennom begrensninger der det er få gode alternativer til bilbruk, vil kostnaden være høy for samfunnet.

Tiltak som reduserer transportvolum eller omfordeler transporten vil kunne utløses av endringer av infrastrukturen (utbygging av sykkelveinett og lignende), restriktive virkemidler (økte priser i bomringen, økt drivstoffavgift og lignende) og stimulerende virkemidler (reduerte kollektivsatser, tilskudd til jernbanen og lignende). TØI med flere har estimert effekten av ulike slike virkemidler i flere kjøring av transportmodellen. En oppsummering av resultatene fra disse kjøringene finnes i avslutningsrapporten for Tempo-prosjektet (TEMPO, 2014).

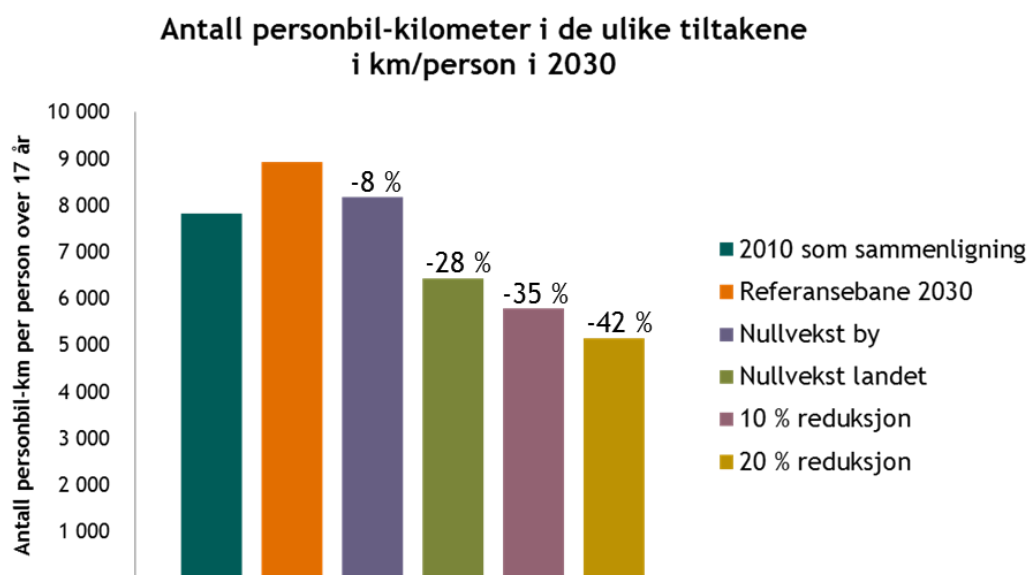
Redusert persontransport

For personbiler har vi henholdsvis sett på utslippsreduksjonen i forhold til referansebanen for 2030 dersom nullvekst-målet oppnås, dersom målet utvides til å inkludere hele landet (ikke bare de største byene) og dersom man får til en reduksjon av personbil-km relativt til personbil-km som ble kjørt i 2010. Det er antatt at veksten i personbil-km er redusert uten at dette fører til økt trafikkarbeid for andre motoriserte transportmidler, det vil si at det for eksempel ikke er lagt inn et økt kollektivtilbud. I praksis betyr dette at tiltaket forutsetter at det skjer en overgang til gange eller sykkel, til kollektivtransportmidler som uansett kjører (utnytte ledig kapasitet), til kollektivtransportmidler med nullutslipp, eller at reiser ikke gjøres. Effekten er beregnet gitt at man oppnår nullvekst i perioden 2010-2030 og under antagelsen om at 30 % av personbil-kilometer kjøres i by.

Tabell 4-10 Utslippsreduksjoner som følge av redusert bruk av personbil.

Redusert vekst	Antall km forhindret	Utslippsreduksjon i 2030 [tonn CO ₂ -ekv.]	Gjenværende utslipp fra personbiler [tonn CO ₂ -ekv.]
Nullvekst i byene	3,6 millioner km	500 000	5,5 millioner
Nullvekst i hele landet	12 millioner km	1,7 millioner	4,5 millioner
10 % reduksjon ift. 2010	15 millioner km	2,1 millioner	3,8 millioner
20 % reduksjon ift. 2010	18 millioner km	2,5 millioner	3,4 millioner

Det er viktig å være oppmerksom på at "nullvekst" ikke er det samme som "fortsette som vi gjør i dag" siden vi forventer en befolkningsøkning framover. Dersom antall personbil-kilometer totalt skal være konstant betyr dette at antall personbil-kilometer per person vil måtte bli redusert betydelig, se Figur 4-29.



Figur 4-29 Illustrasjon av endring i personbil-kilometer per person. Prosentvis endring er beregnet i forhold til referansebanen for 2030 (oransje stolpe).

Omfordeling av godstransport

For å se på størrelsesorden på utslippsreduksjonen som følge av aktivitetsendrende tiltak for godstransporten er det mulig å gjøre en veldig forenklet beregning av overføring av gods til bane. Gitt at 10 prosent av gods som går på vei per i dag blir overført til bane, vil dette gi en utslippsreduksjon på rundt 240 000 tonn CO₂-ekvivalenter. Per i dag blir ca. 50 prosent av godset transportert på vei og i underkant av 10 prosent med bane. Når 10 prosent av gods på vei blir overført til bane tilsvarer dette altså en økning av godsmengden på skinner med rundt 50 prosent. En slik overføring er vanskelig å se for seg uten betydelige investeringer i terminaler og generell infrastruktur. Utslippseffekten i forhold til referansebanen for 2030 er vist i Tabell 4-11.

Tabell 4-11 Utslippsreduksjoner som følge av overføring av gods fra vei til bane.

Overføring fra vei til bane	Utslippsreduksjon i 2030 [tonn CO ₂ -ekv.]	Gjenværende utslipp fra tunge kjøretøy [tonn CO ₂ -ekv.]
5 %	120 000	2,3 millioner
10 %	240 000	2,2 millioner
20 %	480 000	1,9 millioner
40 %	960 000	1,4 millioner

En overføring av godstransport fra vei til bane vil kreve investeringer både på norsk side og utenfor våre grenser. I Norge kan nevnes kapasitetsøkning på godsterminaler (særlig Alnabru), utbygging av flere lange kryssningsspor, utbedring av jernbanespor for økt aksellast og elektrifisering på aktuelle godspendelstrekninger. Overføring av gods fra vei til sjø vil også kreve tilrettelegging og infrastrukturinvesteringer. I forbindelse med NTP 2018-2027 er det iverksatt en bred godsanalyse som vil dekke mange av disse tiltakene, samt at en egen KVV er blitt satt i gang for å se på terminalstruktur på Østlandet.

Det er viktig å bemerke at en ren økning i kapasitet ikke automatisk vil gi overføring av transportarbeid dersom det ikke er etterspørsel etter godstransport på skinner og med skip. For å stimulere overføringen må økt kapasitet på jernbane/sjø kombineres med virkemidler som gjør det mer attraktivt for operatørene å kjøre gods på bane/sjø enn på vei, som for eksempel veiprisering eller reduserte terminalkostnader.

4.4.4.3 Tekniske tiltak

Det finnes veldig mange tekniske tiltak som er mulig å gjennomføre i transportsektoren. Innen rammene av dette prosjektet har vi prioritert å analysere effekten av de tiltakene som vi antar har størst effekt på norske klimagassutslipp i 2030. Følgende tiltak har blitt analysert innenfor de ulike transportformene:

- Veitransport:
 - Økt innblanding av biodrivstoff
 - Forsert innfasing av lavutslippskjøretøy (hybrid) og nullutslippskjøretøy (elbiler og hydrogenbiler), både for personbiler og for tunge kjøretøy
- Jernbane:
 - Elektrifisering av gjenværende dieselstrekninger
- Innenriks luftfart:
 - Innblanding av biodrivstoff (biojetfuel)
- Innenriks sjøfart og fiske:
 - Landstrøm ved kai og energieffektivisering
 - Overgang til elektrisk framdrift (fullstendig elektrifisering og hybridisering)
 - Innblanding av biodrivstoff
- Innenfor andre mobile kilder:
 - Innblanding av biodrivstoff

Nedenfor kommer en kort beskrivelse av tiltakene med tilhørende utslippsreduksjon og kostnadsanslag. Tabell 4-16 oppsummerer våre anslag på reduksjonspotensialet og kostnadskategorier. Effekten av de ulike tiltakene kan ikke summeres fordi det vil være overlapp mellom noen av tiltakene. Tiltakspakkene som beskrives i neste kapittel viser hva utslippsreduksjonen blir når flere tiltak kombineres.

I tillegg til disse tekniske tiltakene har effektivisering av kjøretøy generelt et potensial for å redusere drivstofforbruket og dermed utslippene. Fordi det allerede ligger en antagelse om effektivisering i referansebanen har vi ikke utredet ytterligere effektiviseringstiltak.

Veitransport

Denne sektoren inkluderer all persontrafikk, godstrafikk og kollektivtrafikk på veinettet i Norge. Fram mot 2030 mener vi at det i hovedsak er to tekniske tiltak som er aktuelle for sektoren: Økt innblanding av biodrivstoff og utskifting av fossile kjøretøy med lav- og nullutslippskjøretøy.

Økt innblanding av biodrivstoff

Økt innblanding av biodrivstoff i det fossile drivstoffet vil kunne redusere norske klimagassutslipp forholdsvis raskt. Per i dag skal 3,5 prosent av alt drivstoff som selges til veitransport være bærekraftig biodrivstoff. En økning av innblandingen med 10 prosentpoeng vil kunne redusere klimagassutslippene med noe over 1 million tonn CO₂-ekvivalenter. Tiltaket skaleres lineært og utslippseffekten av andre innblandinger er vist i Tabell 4-12. Ifølge beregninger gjort i Klimakur 2020 er slike tiltak relativt rimelige ved lav biodrivstoffinnblanding, mens kostnaden øker når innblandingen øker. Kostnadene ved økt innblanding er knyttet til investering i infrastruktur (lager som er tilpasset biodrivstoff, nye pumper for høyinnblandet biodrivstoff, nye kjøretøy som fungerer

med høyinnblandet eller rent biodrivstoff) og økte driftskostnader (økt pris på biodrivstoff sammenlignet med fossilt drivstoff).

I tiltaksutredningen regnes biodrivstoff som et klimanøytralt drivstoff med nullutslipp i tråd med hvordan det behandles i utslippsregnskapet. Utslipp knyttet til produksjonen av biodrivstoff er altså ikke inkludert i beregningene siden disse vil bokføres som utslipp i andre sektorer (jordbruk, industri). Dersom biodrivstoffet importeres vil produksjonsutslippene registreres i andre lands utslippsregnskap. På grunn av problematikken rundt konkurransen mellom landarealer til mat vs. landarealer til drivstoff og "Indirect-Land-Use-Change"-problematikken (ILUC) er høye innblandinger av førstegenerasjons biodrivstoff omdiskutert per i dag. Dersom disse problemene løses eller nye generasjoner drivstoff blir tilgjengelig i stor skala kan man se for seg langt høyere andeler biodrivstoff, og det er dette som er forutsatt i tiltakene over +10 prosent innblanding av biodrivstoff (både for veitransport og for de andre transportformene). Det betyr at det kreves en del forskning og utvikling for tiltakene som er over 10 prosent innblanding.

Utslippsreduksjonene som er vist i tabellen inkluderer eventuell bruk av biogass som er produsert av våtorganisk avfall eller husdyrgjødsel (omtalt i kapittel 4.5 Avfall og kapittel 4.9 Jordbruk) når biogassen benyttes som drivstoff i transportsektoren.

Tabell 4-12 Utslippseffekten av ulike biodrivstoffinnblandinger.

Økt innblanding	Utslippsreduksjon i 2030 [tonn CO ₂ -ekv.]
+ 10 %-poeng	1 140 000
+ 20 %-poeng	2 280 000
+ 40 %-poeng	4 550 000

Innfasing av lav- og nullutslippskjøretøy

Overgangen fra bensin- og dieselskjøretøy til nullutslippskjøretøy (elbiler/EV og hydrogenbiler/FCEV) kan redusere utslippene betydelig, men krever en lengre innfasingsperiode enn økt innblanding av biodrivstoff. Siden disse teknologiene ennå ikke er tilgjengelige i stor skala for alle deler av veitransporten har vi også sett på en overgang til hybridkjøretøy.

Generelt vil utslippseffekten av disse tiltakene være avhengig av hvor mange "fossil-kilometer" som erstattes med "nullutslipps-kilometer". Tiltakskostnaden vil derfor være lavere dersom man erstatter kjøretøy som brukes mye, for eksempel drosjer og andre næringskjøretøy.

Avhengig av ambisjonsnivået kan disse tiltakene redusere forventede utslipp i 2030 betraktelig, men tiltakskostnaden vil være høyere ved en sterk forsert innfasing av slike kjøretøy. I tillegg er usikkerheten for tiltakene også betydelig større med en rask innfasing. Fordi de ulike teknologiene har ulike styrker og svakheter har vi delt nullutslippstiltaket inn etter segment:

1. Små personbiler
2. Store personbiler
3. Busser
4. Varebiler
5. Lastebiler

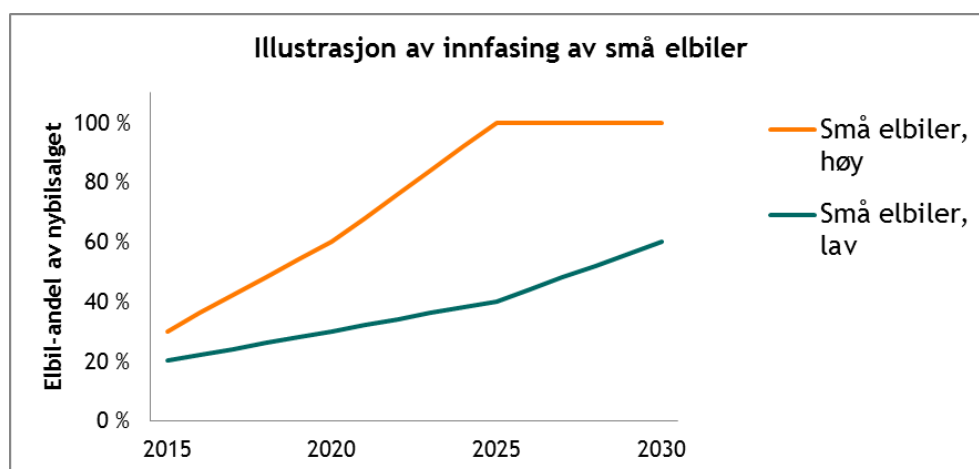
Alle tiltakene vi har sett på er laget i to varianter - et med høyt ambisjonsnivå og et med et noe lavere ambisjonsnivå. I Tabell 4-13 og Tabell 4-14 er det en oversikt over alle disse tiltakene som viser skaleringen og utslippseffekten.

Små personbiler

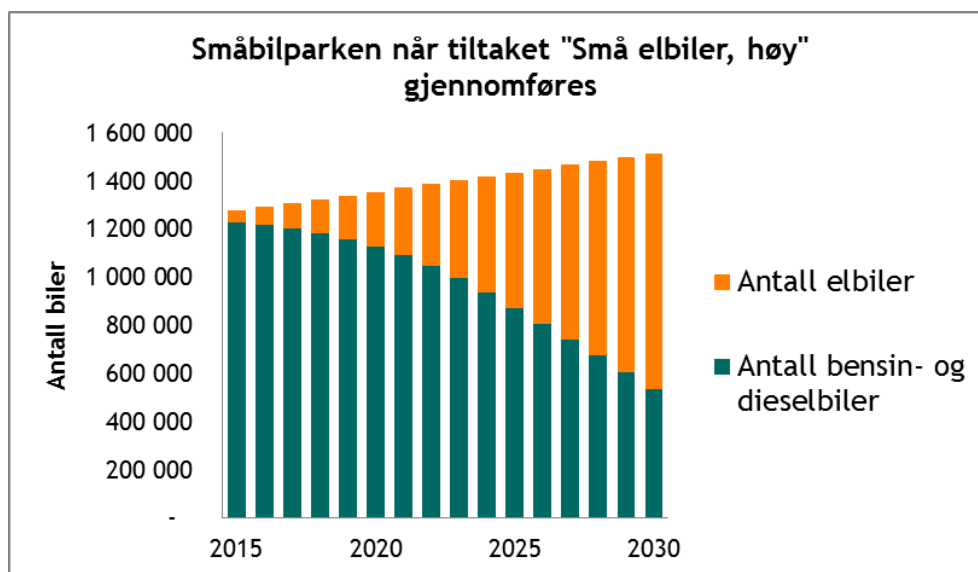
Som beskrevet i vedlegg 6 er fordelingen av nybiler på ulike segmenter slik at rundt 50 prosent av bilene er småbiler (segment A-C, f.eks. Fiat Panda, Toyota Yaris og VW Golf), mens 50 prosent er større biler (segment D, E, J, f.eks. Audi A4, Volvo V70, VW Touareg). Dersom rekkevidden på de elektriske småbilene øker noe, vil sannsynligvis tilnærmet hele segmentet "småbiler" ha batteri-elektriske alternativer innen 2030.

Hvis man antok dagens utskiftingstakt og at 100 prosent av de nye småbilene er elbiler fra og med 2015, blir elbilandelen i dette segmentet 85 prosent i 2030. På grunn av utfordringene med rekkevidde og manglende infrastruktur for hurtiglading har vi lagt til grunn at elbilene ikke kan få en større markedsandel av småbil-nysalget enn 30-40 prosent i 2015 (innenfor topp 20-modellene var elbil-andelen av småbilnysalget på 28 prosent i januar-juni 2014). Gitt at elbilandelen av nye småbiler utvikles som vist i Figur 4-30 ("Små elbiler, høy": 30 prosent av nybilsalget i 2015, 60 prosent i 2020, 100 prosent fra 2025), vil det være ca. 1 millioner små elbiler på norske veier i 2030. Det tilsvarer 65 prosent av småbilparken i 2030. Sammensetningen av småbilparken etter dette tiltaket er vist i Figur 4-31. Gitt at bruksmønsteret til elbilene tilsvarer fossile småbiler vil dette gi utslippsreduksjoner i størrelsesorden 1,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Dersom man ønsker en enda høyere andel elbiler i småbilsegmentet i 2030 vil man måtte skifte ut en del bensin- og dieslbiler noen år tidligere enn når de hadde blitt skrotet i en vanlig utskiftingstakt. I tiltaket med lavere ambisjonsnivå ("Små elbiler, lav") er innfasingstakten betydelig lavere med 30 prosent elbilandel av nybilsalget i 2020 og 60 prosent i 2030. Utslippsreduksjonen som følge av dette tiltaket blir på rundt 880 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030.

I Klimakur (Klimakur 2020, 2010) ble tiltakskostnaden for innfasing av elbiler anslått til 1090 kr/tonn CO₂-ekvivalenter i 2020 og -45 kr/tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Tiltakskostnaden avhenger av når elbilen blir konkurransedyktig med fossilbilen - uten subsidier. Denne utviklingen har gått raskere enn det man trodde da Klimakur-beregningene ble gjort, og vi antar at innfasing av elbiler har "lav" tiltakskostnad.



Figur 4-30 Elbilandelen i tiltaket forsert innfasing av elbiler i småbilmarkedet.



Figur 4-31 Fordelingen av små personbiler på fossile og batterielektriske kjøretøy etter tiltaket.

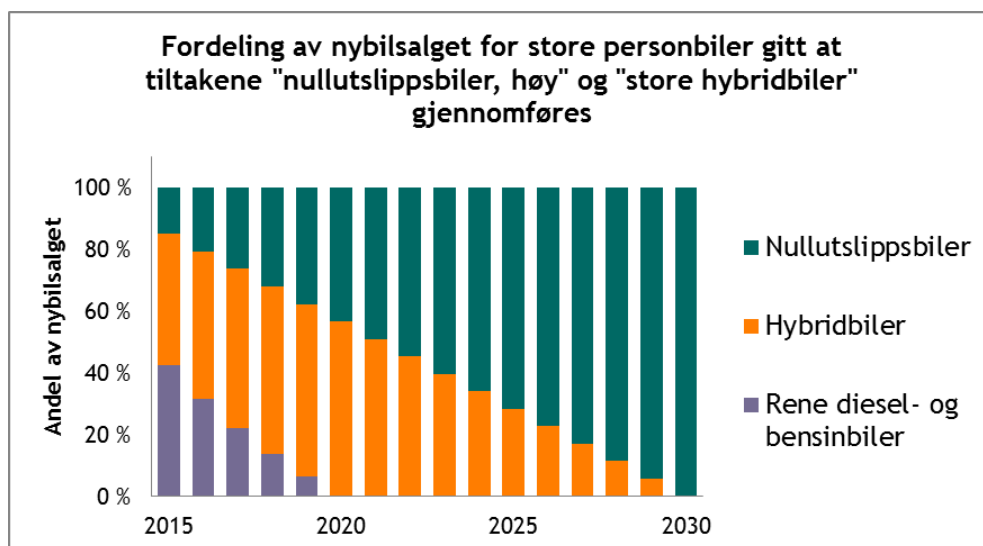
Store personbiler

Deler av dette bilsegmentet vil kunne erstattes med batterielektriske kjøretøy (EV), men siden disse bilene er tyngre enn småbilene er utfordringen med rekkevidden større. For større biler er det tenkelig at hydrogen er en bedre løsning enn batterielektrisk drift siden energitettheten i hydrogen er betydelig høyere enn i et batteri. For å øke rekkevidden med 100 km på en elbil trenger man ca. 150 kg batterier med dagens teknologi. For hydrogenbilen (som trenger 1 kg H₂ for å øke rekkevidden med 100 km) er vekttillegget i størrelsesorden 15 kg (hydrogentank + hydrogen). Det er likevel ikke klart i dag om det er batterielektriske eller hydrogenbiler som vil være den viktigste teknologien i dette segmentet mot 2030. Det er også tenkelig at det er en blanding av teknologiene som vil bli dominerende: batterielektriske biler med hydrogen som "range extender". Vi har derfor sett på en innfasing av nullutslippsbiler uten å velge hvilken teknologi disse skal ha. Tiltaket er supplert med at en stor andel av nye bensin- og dieserbiler skal være hybridbiler for å redusere utslippene ytterligere.

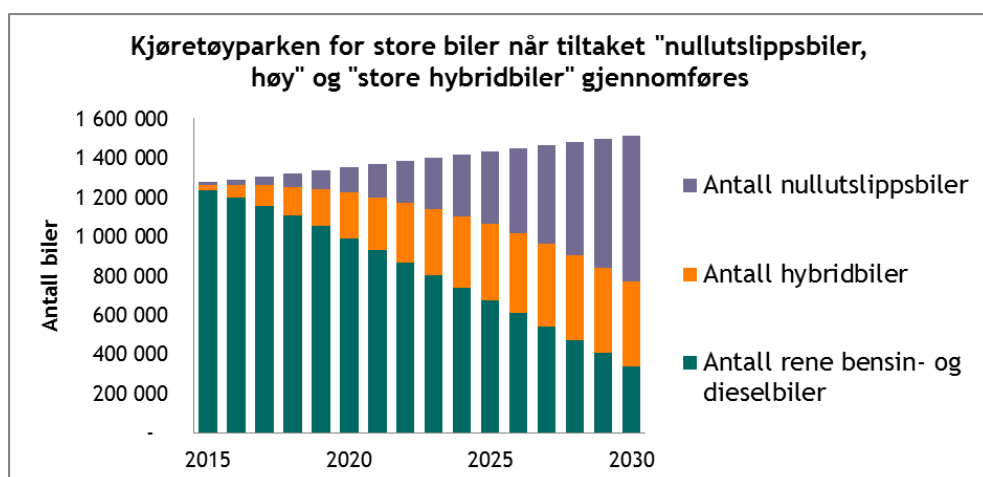
Nullutslipp og hybrider, store personbiler, høy: Tiltaket "Store nullutslippsbiler, høy" er skalert slik at alle biler som selges i 2030 er nullutslippsbiler. I tillegg er det forutsatt at en stor andel av bilene som ikke har nullutslippsteknologi er hybridbiler (50 prosent av bensin- og dieserbilene i 2015, 100 prosent i 2020). Hvordan nybilsalget fordeler seg er vist i Figur 4-32 under. Til sammen gir dette tiltaket en utslippsreduksjon på rundt 1,9 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Sammensetningen av kjøretøyparken er vist i Figur 4-33. I 2030 vil allikevel ca. 50 prosent av bilene fortsatt benytte fossile drivstoff, men 60 prosent av disse vil være hybridbiler.

Innfasing av hydrogenbiler krever at to ting er på plass: 1. Infrastruktur for hydrogenfylling må være godt utbygd og tilby hydrogen til en pris som gjør at hydrogenbilen kan konkurrere med fossilbilene; og 2. Hydrogenbilen må bli konkurransedyktig ved innkjøp sammenlignet med en fossilbil. Det er mulig at disse bilene får en kraftig redusert pris i løpet av relativt kort tid som følge av teknologiutvikling og masseproduksjon, men hvis dette ikke skjer "av seg selv" må myndighetene innrette avgiftssystemet slik at hydrogenbilene blir rimeligere i anskaffelse enn fossile biler for å utløse dette tiltaket. Per i dag er i tillegg den totale virkningsgraden relativt lavt for hydrogenproduksjon, komprimering, kjøring, lagring og bruk i brenselcellen i bilen. Totalt sett gir

dette en virkningsgrad på ca. 35 prosent, slik at det totale energiforbruket blir relativt høyt dersom mange kjøretøy skal benytte hydrogen. I tillegg gir den lave virkningsgraden høye driftskostnader.



Figur 4-32 Fordeling av nybilsalget for store personbiler når tiltaket gjennomføres.



Figur 4-33 Kjøretøyparken for store personbiler dersom alle utskiftingstiltakene gjennomføres.

Nullutslipp, store personbiler, lav: I dette tiltaket er innfasingen av nullutslippsbilene satt betydelig lavere enn i tiltaket over. Det forutsettes at 40 prosent av nye, store personbiler i 2030 har nullutslippsteknologi. I tillegg er tiltaket "hybridbiler" inkludert i samme skalering som over. Dette tiltaket gir i sum en utslippsreduksjon på 910 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030.

Busser

For tunge kjøretøy er det usikkert hvorvidt teknologien har utviklet seg nok fram til 2030 til at en stor andel av bussene kan drives med batterier alene. Konverteringen vil være enklest for bussene i lokaltransporten, mens langdistansebussene vil være mer krevende å konvertere. Alternativer er hydrogendrift og batteridrift med hydrogen som "range extender". I tillegg kan biodrivstoff (f.eks. biogass) benyttes, men det er ikke del av dette tiltaket (ligger i biodrivstoff-tiltaket).

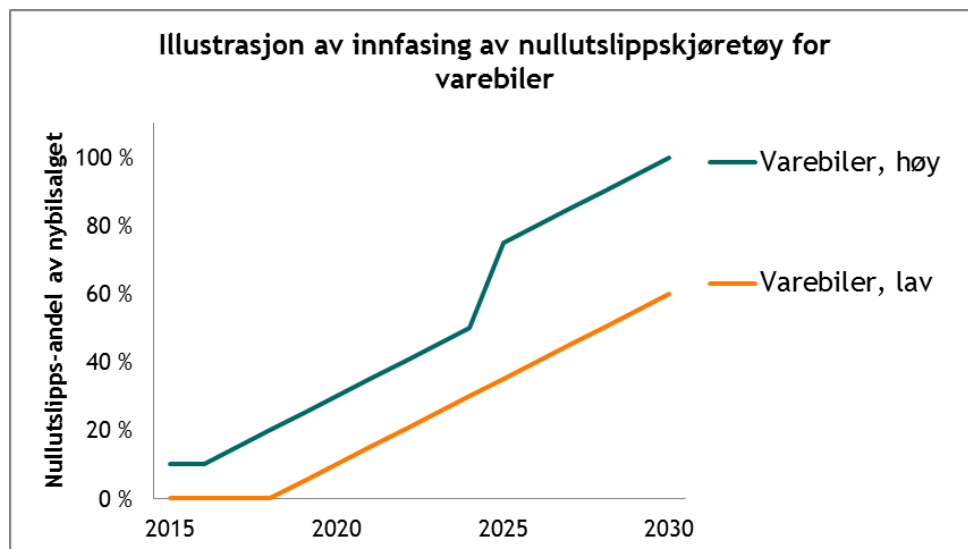
En buss har en typisk levetid på 10 år (Klif, 2013a), det vil si at det er mulig å skifte ut hele bussparken med nullutslippsteknologi innen 2030. Ifølge referansebanen er utslippet fra busser rundt 640 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Dersom alle bussene erstattes med nullutslippsbusser vil utslippsreduksjonen derfor bli på 640 000 tonn CO₂-ekvivalenter i forhold til referansebanen.

Dersom aktiviteten øker betydelig, for eksempel på grunn av en satsing på kollektivtrafikken, vil tiltaket i realiteten kunne gi en større utslippsreduksjon. En mindre ambisiøs versjon av tiltaket er å bytte ut halvparten av bussene med nullutslippsvarianter innen 2030. Dette vil gi en utslippsreduksjon på 320 000 tonn CO₂-ekvivalenter relativt til referansebanen.

I følge framskrivningen blir fordelingen mellom utslipp fra langdistansebusser og fra bybusser ca. 1/3 fra langdistanse og 2/3 fra bybusser. Sannsynligvis vil det være enklere å bytte ut bybussene med nullutslippskjøretøy, slik at det også er mulig å se på en versjon av tiltaket der alle bybussene skiftes ut. Utskifting av bybusser er også viktig med tanke på luftforurensning. Utslippsreduksjonen av dette tiltaket ligger på 430 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030.

Nullutslippsteknologi varebiler

Varebiler ligger i utslippsregnskapet under koden "Andre lette biler, diesel" og "Andre lette biler, bensin". Fordi utslippene her inkluderer alle biler med grønne skilt er det altså ikke bare mini-busser og mindre lastebiler, men også mindre biler ("håndverker-bilen", "hjemmehjelp-bilen" etc.). De mindre bilene i denne kategorien vil kunne skiftes ut med elektriske biler på linje med personbilene, mens de større bilene/varebilene/mini-bussene kanskje vil være mer egnet for hydrogendrift. Dersom halvparten av disse kjøretøyene skiftes ut med nullutslippsteknologi ("varebiler, høy") gir dette en utslippsreduksjon på rundt 1,1 million tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Dette tilsvarer ambisjonsnivået for tiltakene som er skissert for store biler, altså at nullutslippsandelen av nybilsalget er på 75 prosent i 2025 og på 100 prosent i 2030. Opptrappingen av andelen nullutslippskjøretøy av nybilsalget er vist i Figur 4-34. For det mindre ambisiøse tiltaket "varebiler, lav" forutsettes en nullutslippsandel på 25 prosent i 2030, se også Figur 4-34. Utslippsreduksjonen i 2030 vil ligge på rundt 550 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

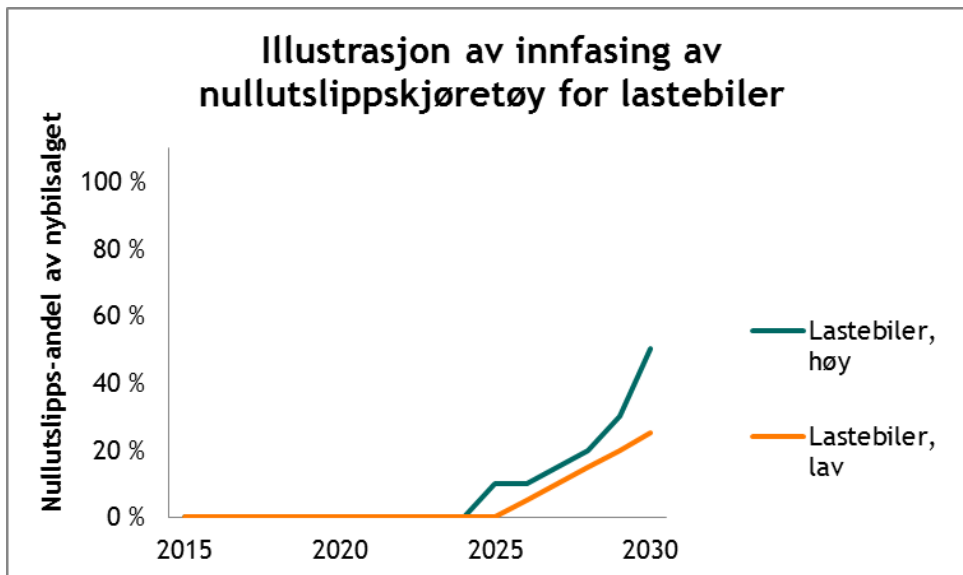


Figur 4-34 Illustrasjon av innføring av nullutslippsteknologi for varebiler.

Lastebiler

For tunge kjøretøy/lastebiler er det per i dag bare tenkelig med batterielektrisk drift dersom man bygger ut infrastruktur for lading mens man kjører (pantograf-ledninger, el-skiner eller induktiv lading). Slik infrastruktur vil ta tid å få på plass. Det virker derfor mer sannsynlig at disse kjøretøyene benytter hydrogen i 2030, eventuelt i kombinasjon med batterielektrisk drift. Tunge kjøretøy har en kortere levetid enn personbiler, det vil si at utskiftingen går raskere enn i personbilmarkedet. For å oppnå 100 prosent nullutslippslastebiler i 2050 må nullutslippsandelen av

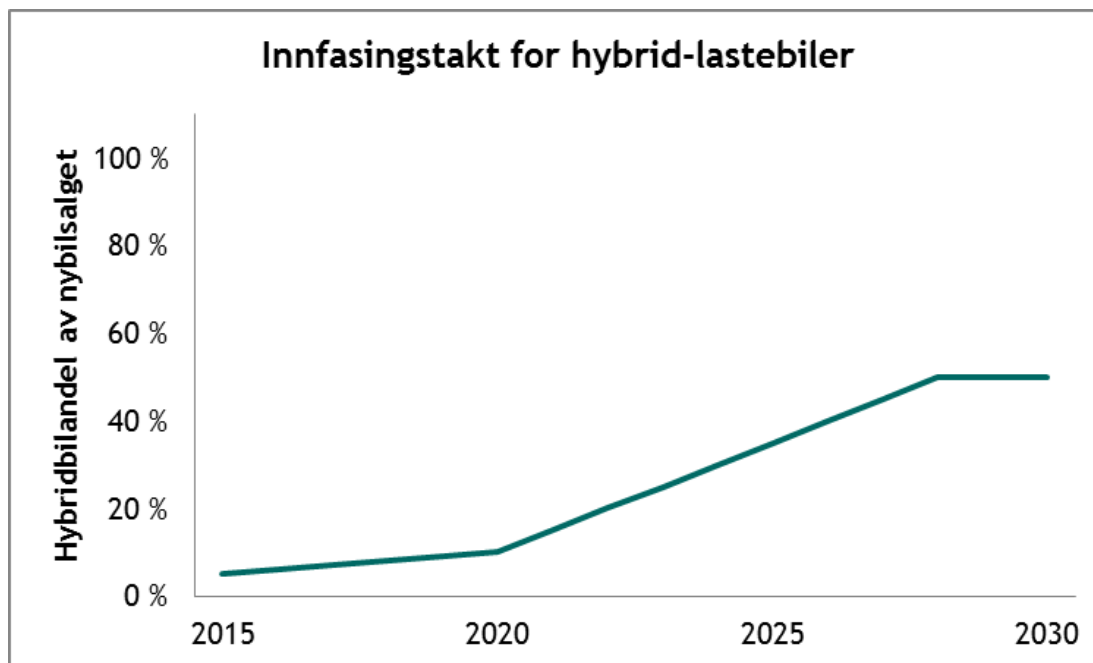
nybilsalget være på 100 prosent rundt 2040. Tiltaket er derfor skalert slik at rundt 50 prosent av nysolgte lastebiler i 2030 er utstyrt med nullutslippsteknologi. I 2013 var det rundt 80 000 lastebiler registrert i Norge. Gitt at levetiden på disse er på rundt 10 år, selges det ca. 8 000 lastebiler hvert år. Det vil si at tiltaket forutsetter at det er mulig å selge 4 000 lastebiler med nullutslippsteknologi i 2030 (og noen få slike lastebiler i årene mellom 2025 og 2030). Dette tiltaket er anslått å kunne gi en utslippsreduksjon på rundt 320 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030, gitt at opptappingen som vist i Figur 4-35 under "lastebiler, høy" følges. En mindre ambisiøs versjon av tiltaket ("lastebiler, lav") gir en utslippsreduksjon på 180 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030.



Figur 4-35 Illustrasjon av innfasing av nullutslippsteknologi for lastebiler.

Hybridteknologi lastebiler

Tiltaket forutsetter en innfasing som vist i Figur 4-36 (5 prosent av nye lastebiler i 2015, 10 prosent i 2020, 50 prosent fra 2028). Dersom hybridkjøretøyene gir 30 prosent utslippsreduksjon i forhold til konvensjonelle kjøretøy, gir dette tiltaket en utslippsreduksjon på 190 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030 (dvs. -8 prosent i forhold til referansebanen for lastebiler).



Figur 4-36 Illustrasjon av innfasing av hybrid-lastebiler

Tabell 4-13 Oversikt over el-, hydrogen og hybridbil-innfasingen for personbiler

Tiltaks-ID	Kjøretøy-segmentet	Teknologi	Skalering av tiltaket [% av nye kjøretøy]			Utslippsreduksjon [tonn CO ₂ -ekv.]	
			2020	2025	2030	2025	2030
Små EV, lav	Små personbiler	Batteri-elektrisk	30 %	40 %	60 %	520 000	880 000
Små EV, høy	Små personbiler	Batteri-elektrisk	60 %	100 %	100 %	1 000 000	1 690 000
Store nullutslipp, lav	Store personbiler	Batteri-elektrisk og hydrogen	17 %	28 %	40 %	330 000	630 000
Store nullutslipp, høy	Store personbiler	Batteri-elektrisk og hydrogen	43 %	72 %	100 %	850 000	1 600 000
Hybridbiler	Store personbiler	Hybrid og plug-in hybrid	57 %	28 %	0 %	260 000	280 000

Tabell 4-14 Oversikt over el-, hydrogen og hybridbil-innfasingen for varebiler, buss og lastebiler

Tiltaks-ID	Kjøretøy-segmentet	Teknologi	Skalering av tiltaket [% av nye kjøretøy]			Utslippsreduksjon [tonn CO ₂ -ekv.]	
			2020	2025	2030	2025	2030
Varebiler, lav	Varebiler (grønne skilt)	Batteri, hydrogen	10 %	35 %	60 %	190 000	540 000
Varebiler, høy	Varebiler (grønne skilt)	Batteri, hydrogen	30 %	75 %	100 %	470 000	1 100 000
Busser, lav	Busser	Batteri, hydrogen, biogass	10 % av de nye bussene	100 % av de nye bussene	50 % av alle bussene	290 000	320 000
Busser, høy	Busser	Batteri, hydrogen, biogass	90 % av de nye bussene	100 % av de nye bussene	100 % av alle bussene	580 000	640 000
Lastebiler, lav	Tunge kjøretøy	Batteri, hydrogen, biogass	0 %	0 %	25 %	0	180 000
Lastebiler, høy	Tunge kjøretøy	Batteri, hydrogen, biogass	0 %	10 %	50 %	25 000	325 000
Lastebiler, hybrid	Tunge kjøretøy	Hybrid og plug-in hybrid	10 %	35 %	50 %	120 000	190 000

Jernbane

Omtrent 80 prosent av jernbanetrafikken i Norge drives i dag elektrisk. De gjenstående dieselbanene er Rørosbanen, Solørbanen, Raumabanen, Nordlandsbanen, herunder Trønderbanen (Trondheim-Steinkjer) og Meråkerbanen. I følge NTP 2014-2023 skal Trønderbanen og Meråkerbanen elektrifiseres i planens andre delperiode. Til sammen gir dagens drift av dieseldrevne tog (person- og godstog) på samtlige strekninger relativt beskjedne utslipp på ca. 50 000 tonn CO₂/år. En helelektrifisering av jernbanen vil derfor gi en utslippsreduksjon på 50 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

Investering i infrastruktur for elektrisk togdrift er kostnadskrevende. Dersom man kun ser på kostnadseffektiviteten for én til én substitusjon av dieseltog og -motorvogner med elektriske tog gir dette svært høye kostnader som klimatiltak. Nyttene strekker seg imidlertid utover denne direkte effekten. Elektrifisert jernbane vil legge grunnlag for en mer effektiv og fleksibel togtransport, som i sin tur legger til rette for bl.a. økt overføring av transportarbeid fra vei. På en elektrifisert trasé kan man:

- *Kjøre raskere med persontog:* Elektriske tog akselererer og bremses normalt raskere enn dieseldrevne tog. For tog med relativt tett stoppmønster betyr det redusert reisetid og/eller bedre punktlighet.
- *Kjøre lengre godstog:* elektriske motorer har større trekkraft enn dieseldrevne motorer og man kan dermed dra lengre tog med et enkelt lok.
- *Togoperatørene oppnår stordriftsfordeler ved bare å drifte elektriske lok*
- *Effektivisere ved å etablere pendler med ren elektrisk drift:* Eksempelvis vil elektrifisering av Meråkerbanen gi mulighet til å kjøre elektrisk hele veien fra Alnabru til Trondheim via Sverige, eventuelt opprette en elektrisk godspendel Trondheim - Narvik. Et annet eksempel er hvordan eventuell elektrifisering av Rørosbanen vil gi et helelektrisk alternativ mellom Alnabru og Trondheim der godstogene kan kjøre nordover gjennom Østerdalen og sørover via Gudbrandsdalen på en måte som ligner på dobbeltspordrift.

Når det gjelder konvertering til andre energibærere som biodrivstoff, hydrogen, elektrisk batteri osv. har Jernbaneverket igangsatt et analysearbeid som forventes ferdig våren 2015. Alternativer til elektrifisering vil antakelig være mer fordelaktige på strekninger som ikke har de største mengder trafikk eller ikke åpner for alternative ruter, f.eks. Nordlandsbanen.

I helhetsvurderingen av elektrifisering som klimatiltak må man også ta høyde for potensialet for overføring av godstransport fra vei til bane, og overføring av passasjertransport fra fly og vei til persontog. Om godskapasiteten økes betydelig, og at denne tas i bruk, samtidig som persontogene får kortere reisetid, er det sannsynlig at dette har større effekt for reduksjon av klimagassutslipp enn de reduserte/eliminerende utslippene fra selve togene. Elektrifisering vil dessuten nærmest automatisk bedre konkurransekraften til jernbane sammenliknet andre transportformer i og med at den bedriftsøkonomiske kostnaden forbundet med fremdrift av elektriske tog er vesentlig lavere enn dieseltog.

En rekke energieffektiviseringstiltak på både togmateriell og infrastruktur som ikke er analysert videre her, vil også kunne bidra til direkte og indirekte utslippsreduksjoner fra togtrafikken. Effektiviseringstiltak relevante for både diesel- og elektrisk togmateriell vil være bl.a. øko-kjøring/energieffektiv kjøring, energieffektiv trafikkstyring, gradvis utskifting av lok-motorer, aerodynamisk utforming av tog, bedre regulering av inn klima på tog, og energieffektivisering ved hensetting. Spesifikt for elektriske tog er det i tillegg aktuelt med utnyttelse av bremseenergi gjennom tilbakemating til strømforsyningssystemet. Selve strømforsyningssystemet kan også effektiviseres og man kan redusere tap ved overføring av strøm ved bl.a. utskifting fra roterende til statiske omformere, videre utbygging av autotransformatorsystem, større "sløyfer" for utnyttelse av bremseenergi og direktegenerering av kjørestrom i riktig spenning. Dette vil redusere sektorens kraftforbruk, men vil ikke føre til utslippsreduksjoner i Norge.

Innenriks luftfart

Innenriks flytrafikk sto for rundt 1,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter eller 8 prosent av utslippene fra transportsektoren i 2012. Utslippene er forventet å øke noe fram til 2020, for så å bli redusert noe, slik at utslippet i 2030 i framskrivningen ligger på samme nivå som 2012-utslippene. Det er allerede i referansebanen forutsatt en betydelig energieffektivisering og det er ifølge bransjen lite realistisk med ytterligere effektivisering. For å oppnå denne effektiviseringen er det mange tiltak som skal gjennomføres, blant annet utskifting og fornying av flyflåten.

I tillegg til effektiviseringstiltakene som allerede er inkludert i referansebanen, er det hovedsakelig biodrivstoff som kan bidra til større utslippsreduksjoner i sektoren. Bransjen anslår at en innblanding på 10-15 prosent biodrivstoff er mulig å oppnå innen 2020, med en opptrapping til 20 prosent og mer innen 2025. Dette er en ambisiøs målsetting som, dersom produksjonen skal finne sted i Norge, vil kreve betydelige investeringer i løpet av få år. Dersom biodrivstoffet produseres i Norge vil dette kunne føre til økte utslipp i andre sektorer. Disse økte utslippene er ikke hensyntatt i denne utredningen. Den rene erstatningseffekten når biojetfuel brukes istedenfor fossilt jetfuel er på rundt 260 000 tonn CO₂-ekvivalenter per år ved en innblanding på 20 prosent i 2030.

Utslipp fra utenriks flyreiser

Klimagassutslippene fra all innenriks sivil luftfart tilsvarte ifølge Statistisk Sentralbyrå (SSB) i 2012 2,3 prosent av samlede innenriks utslipp (1,24 av 51,7 millioner tonn). Det er disse utslippene som er omfattet av Kyotoprotokollen og som er tema for denne rapporten.

Klimagassutslipp fra utenrikstrafikken medfører imidlertid også betydelige klimagassutslipp. Utslipp fra sivile flyreiser fra norske lufthavner til første destinasjon i utlandet var 1,25 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012. Samlede klimagassutslipp fra alt jetflydrivstoff til sivile formål solgt på norske lufthavner i 2012 er altså i størrelsesorden 2,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, som er en økning sammenliknet med 2011. Tilsvarende rapportering fra alle land danner grunnlaget for beregning av de globale utslippene fra luftfart, som er beregnet til å være om lag to prosent av de totale klimagassutslippene.

Det finnes også alternative måter å beregne klimagassutslipp fra luftfart på: En kan for eksempel beregne utslipp fra aktiviteten til alle flyselskaper som er hjemmewærende i Norge (SSB gjør dette hvert år), eller ved hjelp av reisevaneundersøkelser beregne utslipp fra alle nordmenns flyreiser i utlandet (se f.eks. TØI 2007 [<https://www.toi.no/publikasjoner/baerekraftig-og-samfunnsnyttig-luftfart-article19574-8.html>] og TEMPO 2014).

Ikke alle klimagasser eller klimaeffekter er omfattet av Kyotoprotokollen. Dersom man skal ta hensyn til effekten av utslipp fra luftfart i høye luftlag, anslår Cicero en tilleggsfaktor på mellom 1,2 og 1,8 når metodikken i Kyotoprotokollen legges til grunn. For de fleste innenriks flygninger i Norge vil denne effekten være vesentlig mindre, da flyene bare tilbringer begrenset tid i disse høydene.

Innenriks sjøfart og fiske

Skipsfart er i stor grad en internasjonal næring hvor regelverket utvikles og vedtas i den Internasjonale Maritime Organisasjon (IMO) og i EU. Selv om dette regelverket først og fremst gjelder skip i utenriksfart, blir det også i mange tilfeller gjort gjeldende for norsk innenriks skipsfart. Med innenriks skipsfart menes all sjøtransport mellom minst to norske havner, uavhengig av om skipene er norske eller utenlandske. Det har vist seg å være en utfordring å beregne hvor mange fartøy som seiler i innenriksfart i Norge fordi det ikke finnes statistikk på dette. Skip transporterer rundt 40 prosent av alt gods i Norge og har dermed stor betydning for den totale transporten.

I tillegg til godsskipene inkluderer sektoren utslipp fra ferger og fiskebåter. Ferger er omtalt spesifikt lengre ned, mens det for fiskebåtene forutsettes at tiltakene for skip også vil kunne gjennomføres for disse. Fiskeflåten består av rundt 250 fartøy med mer enn 1000 hk og rundt 250 fartøy med motorstørrelse på 500-1000 hk. I tillegg er det ca. 5 600 fartøy mindre enn 500 hk. Selv om det er mange flere av de minste fartøyene, er det likevel de største båtene som står for brorparten av utslippet (60 prosent fra båter >1000hk, 20 prosent fra båter 500-1000 hk, 20 prosent fra båter <500 hk).

Vi har sett på fem utslippsreducerende tiltak for godsskip, fiskefartøy og ferger:

1. Landstrøm for skip ved kai
2. Energieffektivisering av skip
3. Elektrifisering av stykkgodsskip i nærskipflåten
4. 10 prosent biodrivstoffinnblanding i bunkers
5. Batteridrift av ferger

Landstrøm

Skip som ligger til kai må ofte produsere strøm ved hjelp av eget hjelpemaskineri. Selv om det er flere utfordringer når det gjelder å kunne stille krav til at havner og kaianlegg skal tilby landstrøm,

er dette per i dag relativt enkelt å løse rent teknisk dersom det er nettkapasitet på land. CO₂-reduksjonspotensial er beregnet til 155 000 tonn (Klimakur 2020, 2010). Det arbeides internasjonalt med standardisering av landstrømsforsyning til skip i havner. Norge kan benytte en slik internasjonal standard eller stille krav gjennom Havne- og farvannsloven til norske havner om at et landstrømstilbud skal foreligge og hvilke tekniske krav som skal tilfredsstilles. Det er per i dag uklart om Havne- og farvannsloven kan hjemle slike tiltak.

Energieffektivisering

Tiltakene omfatter: værruting (valg av den ruten som gir de mest optimale værforholdene), "just in time arrival" (optimal fart for å unngå ventetid ved anløp), optimal trim (optimal mengde og plassering av last og bunkers), justering av ballast, optimal propell og innstrømming til propellen, optimal bruk av ror og autopilot, vedlikehold av framdriftsmaskineriet, gjenvinning av varmetap fra eksos og forbedret kapasitetsutnyttelse (samseiling, transportsentral med mer). CO₂-reduksjonspotensialet er beregnet til minst 180 000 tonn. Tallet er hentet fra studier på skip i internasjonal fart, og er ikke nødvendigvis representativt for innenriksflåten. Kostnader er ikke beregnet, men enkelte av tiltakene anses som samfunnsøkonomisk lønnsomme. Et krav om at alle skip skal ha en skipsspesifikk energieffektiviseringsplan (SEEMP) er trådt i kraft for skip i internasjonal fart fra 1.januar 2013. Planen er å implementere samme krav nasjonalt fra 1.januar 2015.

Elektrifisering av stykkgodsskip i nærskipflåten

Bruk av batterier kan utføres på flere måter og med forskjellig grad av elektrifisering. Det kan brukes en kombinasjon av diesel og batteri (med varierende andel batteri) eller en helelektrisk løsning. Hybridløsninger vil kunne være både plug-in hybrid (som lades ved en ladestasjon på land) eller en hybridløsning som lades via en generator. Man ser også for seg partielle løsninger for deler av den eksisterende skipsflåten der man for eksempel gjennom ettermontering av elektrisk drift av kraner på stykkgodsskip får en mer effektiv energibruk/energigjenvinning og dermed reduserer utslipp.

Tiltaket "Elektrifisering av stykkgodsskip i nærskipflåten" er basert på en gradvis innfasing av hybrid-elektriske (batteri og diesel) og full-elektriske skip (kun batteri) frem til 2050, hvor 2050 er første år hvor hele flåten er elektrifisert, det vil si det er null konvensjonelle dieselskip. I tiltaket ser man på en situasjon der flåten består av 20 prosent full-elektriske og 80 prosent hybrid-elektriske skip i 2050. Grunnlaget for dette scenarioet er et ønske om å se hvor stor utslippsreduksjon elektrifisering potensielt kan ha, mer enn en vurdering av en realistisk innfasing av elektriske skip. Scenarioet har altså ikke grunnlag i vitenskapelige studier for framtidens flåte.

Utviklingen av antall skip er i beregningen antatt å dobles fra 2015 til 2050, noe som anses som realistisk. Det baseres på gjennomsnittsvekst på 2 prosent per år, hvor det er 5 prosent nybygg og 3 prosent scrapping. Basert på tilgjengeligheten i teknologi antas det at det første el-hybrid-skipet settes i drift i 2020, og at det første full-elektriske skipet settes i drift i 2025. Innfasing av skip skjer deretter med omtrent samme forløp som man har sett med annen teknologi, for eksempel LNG, hvor det tar ca. sju år før teknologien "tar av" i markedet.

Beregninger av kostnader, drivstofforbruk og utslippsreduksjoner er gjort i verktøy utviklet av DNV GL Research & Innovation. Tiltaket gir en utslippsreduksjon på rundt 500 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030 og har negativ tiltakskostnad (ca. -200 kr/tonn CO₂-ekvivalenter), og er altså samfunnsøkonomisk "billigere enn gratis" og klart lønnsomt.

Biodrivstoffinnblanding

Gitt at det blandes 10 prosent biodrivstoff i drivstoffet til skip (innenlands sjøfart og fiske) vil dette gi en utslippsreduksjon på rundt 340 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. En dobling av innblandingen gir en dobling av utslippsreduksjon (20 prosent innblanding gir 680 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030).

Batteridrift av ferger

Det er i dag omtrent 140 fergesamband i Norge. På riksveifergesambandene er det staten som er innkjøper av fergetjenester. Ved utgangen av 2013 var det 16 riksveifergesamband. Fem av disse trafikkeres av gassferger. De øvrige trafikkeres av dieselferger. En dieselhybridferge kom i drift i 2013, ytterligere en dieselelektrisk ferge er planlagt ombygd til hybrid i løpet av 2014, og det kommer en 100 prosent batteriferge i drift 1.1.2015.

I forbindelse med NO_x-tiltaksanalysen (Miljødirektoratet et al., 2014c) utredet Vegdirektoratet overgang til batteridrift for riksfergene. Det ble vurdert at ikke alle fergene er egnet for batteridrift innen 2030. Tiltaket har derfor en relativt beskjeden utslippsreduksjon på 23 000 tonn CO₂-ekvivalenter, men en negativ tiltakskostnad (-700 kr/tonn CO₂-ekvivalenter, "billigere enn gratis"). Det er i tillegg anslått at andre ferger (fylkesveiferger) kan oppnå utslippsreduksjoner på rundt 20 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

Andre mobile kilder

I denne fasen av prosjektet har vi sett på en innblanding av biodrivstoff i drivstoffet til andre mobile kilder. Ifølge oljebransjen er det betydelige problemer knyttet til en innblanding per i dag siden biodiesel (FAME) krever gode lagringsforhold og jevn gjennomstrømning i lager og i maskinen. Biodieselen kan felle ut eller føre til bakterievekst og dermed skape problemer når det lagres over lengre tid ved lave temperaturer, og er derfor dårlig egnet til maskiner som brukes sjelden og til drivstofftanker/-lager som har lav gjennomstrømning. Dette er ofte tilfelle for små bedrifter og gårdsbruk, mens større aktører i bygg- og anleggsbransjen har høyere gjennomstrømning og ofte bedre lagermuligheter. Det er derfor noe vanskelig å anslå hvor stort innblandingspotensialet er på kort sikt. Utfordringene knyttet til lagring er mindre for andregenerasjons biodrivstoff. Gitt at brorparten av biodrivstoffet som benyttes i 2030 er andregenerasjons biodiesel vil innblandingen være mindre problematisk. Vi har i tiltaket derfor forutsatt en innblandingsprosent i 2030 på 10 prosent. På linje med innblanding i drivstoff til veitransport vil dette kunne løses ved å ha lavinnblandet biodrivstoff mange steder eller ved å ha noen dedikerte kjøretøy som kan benytte 100 prosent biodrivstoff. Tiltaket gir en utslippsreduksjon på 230 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Ved en økning av innblandingen til 20 prosent gir tiltaket en utslippsreduksjon på 470 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

Mange av kjøretøyene i sektoren andre mobile kilder vil kunne benytte nullutslippsteknologi i 2030 på linje med tunge kjøretøy. Effekten av dette er ikke beregnet i dette prosjektet.

4.4.4.4 Virkemidler og vurdering av barrierene

Selv om flere av tiltakene som er beskrevet i denne rapporten har lave tiltakskostnader, betyr ikke dette at det ikke trengs sterke virkemidler for å utløse tiltakene. Det er i hovedsak to årsaker til at tiltak med lav kostnad ikke utløses uten nye virkemidler:

- Forskjell mellom samfunnsøkonomisk og privatøkonomisk kostnad
- Spredt ansvarsfordeling/manglende koordinering mellom flere aktører

Samfunnsøkonomi og privatøkonomi: Tiltakskostnadene som er beregnet er et anslag på den samfunnsøkonomiske kostnaden, og denne vil ofte ikke være den samme som den privatøkonomiske kostnaden ved å gjennomføre tiltaket. Dette er fordi man i den samfunnsøkonomiske kostnaden ekskluderer de fleste skatter og avgifter og fordi man kan ha priset inn ulike *eksterne virkninger*. Eksterne virkninger er virkninger som ikke har en markedspris (for eksempel redusert luftforurensning, redusert støy eller tidsbesparelser). Dette medfører at et tiltak som har en lav tiltakskostnad likevel kan trenge betydelig høyere virkemiddelbruk for å bli utløst.

Spredt ansvarsfordeling: Når aktøren som tar investeringsbeslutningen ikke er den samme aktøren som vil spare på reduserte driftskostnader kan dette føre til at f.eks. overgang til nullutslippskjøretøy ikke blir utløst. Et eksempel på dette er innenfor sjøtransport der det er rederen som tar investeringsbeslutningen, mens transportkjøperen betaler for driftsutgifter (drivstoff). Et lignende problem oppstår når det er infrastruktur som må på plass før tiltaket kan utløses, men at den aktøren som gjennomfører tiltaket (f.eks. privatpersonen som kjøper en elbil) ikke er den samme aktøren som investerer i infrastrukturbyggingen.

I tillegg til de nevnte hovedkategoriene kan det være andre barrierer eller kostnader som kan gjøre det vanskeligere å få gjennomført tiltaket. Eksempler på dette kan være at aktørene ikke har nødvendig informasjon, at tiltaket forutsetter teknologiutvikling eller manglende kapitaltilgang (kredittgrense). De fleste av disse problemene vil kunne bli mindre ved riktig virkemiddelbruk.

Mange ulike virkemidler kan utløse tiltakene som er beskrevet i dette kapittelet. I Tabell 4-15 under er noen eksempler listet, men det er tenkelig med mange andre virkemidler for å få utløst tiltakene.

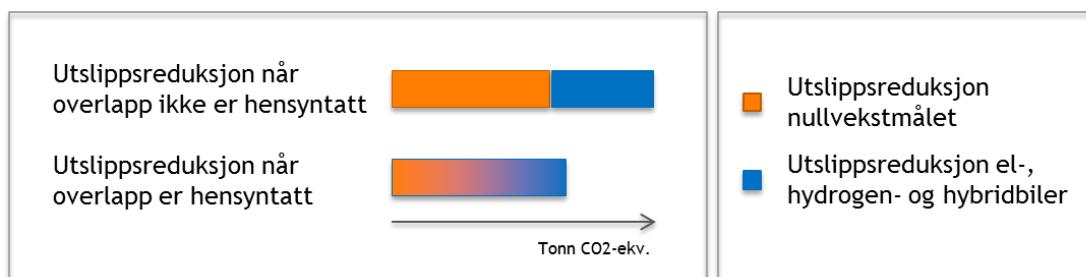
Tabell 4-15 Mulige virkemidler for de ulike tiltakene

Tiltak	Mulige virkemidler
Redusert trafikkarbeid for personbiler	Økt prising av veibruk og/eller fossile drivstoff
	Innføring av bilfrie bykjerter
	Støtte og tilrettelegging for innføring av flere bildelingsordninger
	Inndragning av parkeringsplasser i byene
	Utvide betalingsparkering til alle offentlige parkeringsplasser
Overføring av gods fra vei til bane	Betalingsparkering kjøpesenter
	Fordelsbeskatning fri parkering hos arbeidsgiver
	Bevilgninger over statsbudsjettet. Eventuelt offentlig privat samarbeid.
	Økte avgifter på/veiprisering av alternativ transport vil øke etterspørselen som igjen kan øke den politiske viljen til å bevilge de nødvendige midler.
	Reduserte terminalkostnader
Forsert innfasing el- og hydrogenbiler	Prioritet til godstog på banenettet
	Innføring av fossilfrie bykjerter
	Fortsettelse av avgiftsreduksjoner (fritak for moms og engangsavgift) ved kjøp av el- og hydrogenbiler, eventuelt øke avgiftsforskjellen mellom kjøretøy med høye utslipp og kjøretøy med lave utslipp
	Videreføring av utbygging av ladestasjoner/fyllestasjoner
	Videreføring av gratis parkering, tilgang til kollektivfeltet, gratis bompassering (der det ikke hindrer kollektivtrafikken etc.)
Forsert innfasing el- og hydrogendrift for tunge kjøretøy	Støtte til pilotprosjekter der el- eller hydrogenkjøretøy testes
	Krav om nullutslippskjøretøy i anbudprosesser
	Innføring av fossilfrie bykjerter
	Økt avgiftsforskjell mellom kjøretøy med høye utslipp og kjøretøy med lave utslipp
	Lade- og fyllestasjoner opprettes på steder der sjåførene hviler
Lav- eller nullutslippsteknologi på skip	Krav/etterspørsel i offentlige anbud
	Lavere havneavgifter for nullutslippsskip
	Støtte til ombygging av skip
	Støtte til nye skip som benytter nullutslippsteknologi
Biodrivstoff	(Økt) omsetningskrav
	Reduserte avgifter biodrivstoff og økte avgifter fossile drivstoff
	Krav om høy biodrivstoffinnblanding i kjøretøy som benyttes i offentlig sektor
	Støtte til FoU og pilotprosjekter for utvikling og uttesting av avansert biodrivstoff

4.4.5 Mulige utslippsnivåer

For å analysere ulike ambisjonsnivåer for utslippsreduksjoner i 2030 for transportsektoren har tiltakene blitt vurdert etter kriteriene "tiltakskostnad", altså samfunnsøkonomisk kostnad i kr/tonn CO₂-ekvivalenter, og "gjennomførbarhet", slik det er redegjort for i kapittel 4.1.1. Mange av kostnadsanslagene er vurdert basert på tiltakskostnader fra Klimakur og er ikke oppdatert i dette arbeidet. Vi har likevel gjort en skjønnsmessig vurdering av hvorvidt vi tror at tiltakskostnaden er økt eller redusert siden Klimakur-utredningen for fire år siden. Tabell 4-16 oppsummerer tiltakene med tilhørende utslippsreduksjon i 2030 relativt til referansebanen, samt kategoriseringen etter kriteriene tiltakskostnad og gjennomførbarhet.

Det er betydelig overlapp mellom noen av tiltakene, som illustrert med et eksempel i Figur 4-37. Mens lav- og nullutslippsteknologi for personbiler alene kan redusere utslippene i 2030 med rundt 2,6 millioner tonn CO₂, kan nullvekst i hele landet for personbil-km alene gi en utslippsreduksjon på ca. 1,7 millioner tonn CO₂. Til sammen hadde de altså gitt en utslippsreduksjon på 4,3 millioner tonn hvis det ikke hadde vært overlapp. Men på grunn av overlapp er den totale utslippseffekten ca. 33 prosent lavere, det vil si på 2,9 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Grunnen til dette er at det er få biler som har utslipp ved kjøring som er igjen i bilparken (21 prosent "vanlige" biler som bruker bensin eller diesel, og 31 prosent hybridkjøretøy), slik at en reduksjon av personbil-kilometer har en mindre effekt. På samme måte overlapper for eksempel nullutslippsteknologi og biodrivstoff med hverandre, siden elbilene ikke benytter biodrivstoff. De vil også overlappe med nullvekstmålet.



Figur 4-37 Illustrasjon av overlapp mellom tiltak.

Tabell 4-16 oppsummerer tiltakene sortert etter estimert tiltakskostnad og gjennomførbarhet. Forutsetningene for hvert tiltak er beskrevet i kortform under tabellen. **Reduksjonspotensialet i tonn CO₂-ekvivalenter er ikke adderbar siden flere av tiltakene vil overlappe.**

Tabell 4-16 Oversikt over utslippsreduserende tiltak i transportsektoren. Utslippsreduksjonen er oppgitt for 2030.

Kostnad	Gjennomførbarhet		
	Forholdsvis enkelt	Middels krevende	Krevende
Lav < 500 kr/tonn	1. El- og hydrogenbiler, personbiler, lavt ambisjonsnivå. (1,5 mill. tonn CO₂-ekv.) 2. El-, hydrogendrift på varebiler, lastebiler og busser, lavt ambisjonsnivå. (1,0 mill. tonn CO₂-ekv.) 3. Hybridkjøretøy, personbiler. (280 000 tonn CO₂-ekv.) 4. Hybridkjøretøy, lastebiler. (190 000 tonn CO₂-ekv.) 5. Batteriferge (40 000 tonn CO₂-ekv.) 6. Batteri- og hybriddrift på skip. (500 000 tonn CO₂-ekv.)	7. Nullvekst for personbil-kilometer i de store byene i forhold til 2010. (500 000 tonn CO₂-ekv.) 8. Overføring av 5 % gods fra vei til bane. (120 000 tonn CO₂-ekv.) 9. El- og hydrogenbiler, personbiler, høyt ambisjonsnivå. (3,3 mill. tonn CO₂-ekv.)	
Medium 500 — 1500 kr/tonn	10. + 10 %-poeng biodrivstoff til vei. (1,1 mill. tonn CO₂-ekv.) 11. 10 % biodrivstoff til skip. (340 000 tonn CO₂-ekv.)	12. El- og hydrogendrift på varebiler, lastebiler og busser, høyt ambisjonsnivå. (2,0 mill. tonn CO₂-ekv.) 13. Overføring av 10 % gods fra vei til bane. (240 000 tonn CO₂-ekv.) 14. +20 %-poeng biodrivstoff til vei. (2,3 mill. tonn CO₂-ekv.) 15. 20 % biodrivstoff til skip. (680 000 tonn CO₂-ekv.) 16. 10 % biodrivstoff til andre mobile kilder. (200 000 CO₂-ekv.) 17. 10 % biodrivstoff til fly. (130 000 tonn CO₂-ekv.) 18. Landstrøm til skip i havn. (200 000 tonn CO₂-ekv.) 19. Energieffektivisering skip. (150 000 tonn CO₂-ekv.)	20. Nullvekst for personbil-km i hele landet i forhold til 2010. (1,7 mill. tonn CO₂-ekv.) 21. 20 % biodrivstoff til fly. (260 000 tonn CO₂-ekv.)
Høy >1500 kr/tonn	22. Elektrifisering gjenværende dieselstrekninger på jernbane. (50 000 tonn CO₂-ekv.)		23. 10 % reduksjon av personbil-km ift. 2010 i hele landet. (2,1 mill. tonn CO₂-ekv.) 24. Overføring av 20 % gods fra vei til bane. (480 000 tonn CO₂-ekv.) 25. + 40 %-poeng biodrivstoff til vei. (4,6 mill. tonn CO₂-ekv.) 26. 40 % biodrivstoff til skip. (1,4 mill. tonn CO₂-ekv.) 27. 20 % biodrivstoff til andre mobile kilder. (400 000 tonn CO₂-ekv.)

Overlapp:

Alle el- og hydrogenkjøretøy-tiltak (tiltak 1, 2, 3, 4, 9, 12) og biodrivstoff til vei (tiltak 10, 14 og 25) vil ha overlapp med nullvekst/reduisert transportarbeid (tiltak 7, 20 og 23), og med hverandre. Det samme gjelder for skip, der landstrøm, energieffektivisering, el- og hybriddrift vil overlappe med biodrivstoff-tiltaket.

Forutsetninger:

1. Forutsetter at el- og/eller hydrogenbiler blir konkurransedyktig mellom 2020 og 2025.
Innfasingstakt små personbiler: 30 prosent av nybilene i 2020, 60 prosent av nybilene i 2030.
Innfasingstakt store personbiler: 16 prosent av nybilene i 2020, 40 prosent i 2030.
2. Tiltaket er skalert slik at vi antar at dette blir relativt rimelig. Tiltaket forutsetter at el- og/eller hydrogenteknologien blir anvendelig også for tunge kjøretøy (men begrenset til noen anvendelsesområder, f. eks. kjøretøy med faste ruter). Innfasingstakt busser: 10 prosent av nye busser i 2020, 100 prosent av nye busser fra 2025. Innfasingstakt varebiler: 10 prosent av nye biler i 2020, 60 prosent i 2030. Innfasingstakt lastebiler: 0 prosent i 2020, 25 prosent av nye lastebiler i 2030.
3. Tiltaket forutsetter at 50 prosent av de nye, store personbilene som benytter diesel- eller bensin er hybridkjøretøy i 2015 og at hybridandelen av nye bensin- og dieselbiler økes til 100 prosent i 2020. Siden tiltaket er skalert i sammenheng med høyt ambisjonsnivå på el- og hydrogenbiltiltakene for personbiler, tilsvarer dette en andel av nybilsalget på 43 prosent i 2015, 60 prosent i 2020, 30 prosent i 2025 og 0 prosent i 2030 (siden det i el- og hydrogenbil-tiltakene ikke selges fossilbiler i 2030). Det er videre antatt at hybridbilene har et redusert drivstofforbruk på 30 prosent sammenlignet med en fossilbil.
4. Tiltaket forutsetter at hybridandelen av nye lastebiler er på 5 prosent i 2015, 10 prosent i 2020 og 50 prosent fra 2028. Videre forutsettes det at hybridkjøretøyene reduserer utslippene med 30 prosent sammenlignet med diesellastebiler.
5. Tiltaket forutsetter helelektrifisering av enkelte fergestrekninger.
6. Tiltaket antar en innfasing av hybrid- og helelektriske skip. I 2030 er 7 prosent av skipene utrustet med hybriddrift og 0,5 av skipene har helelektrisk drift.
7. Tiltaket forutsetter at 30 prosent av personbil-kilometerne kjøres i by. Det er denne andelen av transportarbeidet som er holdt konstant fra 2010 til 2030, mens personbilbruken i resten av landet øker som i referansebanen. Det er ikke beregnet hvilken effekt dette vil ha på bilhold.
8. En overføring av 5 prosent av gods som transporteres på vei per i dag til bane vil øke mengden som transporteres med bane med 25 prosent. Tiltaket vil kreve en del infrastrukturinvesteringer (terminaler, dobbeltspor etc.) og forsterkede virkemidler.
9. Tiltaket forutsetter at el- og/eller hydrogenbiler blir konkurransedyktig mellom 2020 og 2025.
Innfasingstakt små personbiler: 60 prosent av nye biler i 2020, 100 prosent fra 2025. Innfasingstakt store personbiler: 40 prosent av nye biler i 2020, 70 prosent i 2025 og 100 prosent i 2030.
10. Økning av biodrivstoffinnblanding i drivstoff til veitransport fra ca. 5 prosent med 10 prosentpoeng (altså til ca. 15 prosent innblanding). Tiltaket vil kreve noen

infrastrukturinvesteringer (drivstofflager, bensinstasjoner, kjøretøy) og/eller økte kostnader knyttet til innkjøp av biodrivstoff.

11. 10 prosent biodrivstoffinnblanding i bunkers til skip. Vil kreve infrastrukturinvesteringer og føre til noe økte driftskostnader.

12. Tiltaket forutsetter at el- og/eller hydrogenteknologien blir anvendelig også for tunge kjøretøy og til flere anvendelsesområder enn i tiltak 2. Innfasingstakt busser: 90 prosent av nye busser i 2020, 100 prosent av nye busser fra 2025. Dette gir 100 prosent el- eller hydrogenbusser i 2030. Innfasingstakt varebiler: 30 prosent av nye biler i 2020, 100 prosent i 2030. Innfasingstakt lastebiler: 0 prosent i 2020, 50 prosent av nye lastebiler i 2030.

13. En overføring av 10 prosent av gods som transporteres på vei per i dag til bane vil øke mengden som transporteres med bane med ca. 50 prosent. Tiltaket vil kreve en del infrastrukturinvesteringer (terminaler, dobbeltspor etc.) og forsterkede virkemidler.

14. Økning av biodrivstoffinnblandingen i drivstoff til veitrafikk med 20 prosentpoeng (altså til 25 prosent). Tiltaket vil være dyrere enn tiltak 10 fordi innblandingen må økes flere steder og fordi flere kjøretøy må skiftes ut.

15. 20 prosent biodrivstoffinnblanding i bunkers til skip. Vil kreve infrastrukturinvesteringer og gi økte driftskostnader.

16. 10 prosent biodrivstoffinnblanding for andre mobile kilder. Vil kreve oppgradering av mange desentraliserte lager og oppgradering av noen maskiner med mer.

17. 10 prosent biojetfuel til alle innenlands flyvninger. Krever noe teknologiutvikling.

18. Landstrøm til skip i havn (kilde: Klimakur).

19. Energieffektivisering og fartsoptimalisering for skip (kilde: Klimakur).

20. Tiltaket forutsetter at personbil-kilometer holdes på 2010-nivå til tross for befolkningsøkning. Per voksen person betyr dette at man kjører 28 prosent færre kilometer med personbil i 2030 sammenlignet kjøre lengden i referansebanen for 2030.

21. 20 prosent biojetfuel til alle innenlands flyvninger. Krever noe teknologiutvikling.

22. Elektrifisering har en høy tiltakskostnad, men mange positive bieffekter som ikke er kvantifisert i denne kostnaden. På noen av strekningene er elektrifisering allerede planlagt.

23. Tiltaket forutsetter at personbil-kilometer reduseres med 10 prosent i forhold til 2010-nivå til tross for befolkningsøkning. Per voksen person betyr dette at man kjører 35 prosent færre kilometer med personbil i 2030.

24. En overføring av 20 prosent av gods som transporteres på vei per i dag til bane.

25. Økning av biodrivstoffinnblanding i drivstoff til veitransport fra ca. 5 prosent med 40 prosentpoeng (altså til ca. 45 prosent innblanding).

26. 40 prosent biodrivstoffinnblanding i bunkers til skip.

27. 20 prosent biodrivstoffinnblanding for andre mobile kilder.

Tiltakspakke 1 - De enklest og billigste tiltakene

I denne pakken inkluderes følgende tiltak:

- Nullvekst for personbiltransport i de store byene
- Overføring av 5 prosent gods fra vei til bane
- El- og hydrogenbiler i "lav"-varianten (personbiler)
- El- og hydrogenkjøretøy i "lav"-varianten (varebiler, lastebiler og busser)
- Hybridkjøretøy (personbiler og lastebiler)
- +10 prosentpoeng biodrivstoff til veigående transport
- 10 prosent biodrivstoff til skip
- Batteri- og hybridskip (godstransport)
- Batteridrevne ferger

Dette er i hovedsak tiltak som er estimert til å ha lav tiltakskostnad og som har relativt god gjennomførbarhet. I tillegg er tiltaket "nullvekst personbil-km i by" og "overføring av 5 prosent gods fra vei til bane" inkludert. Selv om disse tiltakene ligger i "middels krevende" er disse tatt med her fordi dette allerede er et politisk mål. Nullvekst i personbil-kilometer i hele landet er lagt i tiltakspakke 2 ettersom det per i dag ikke finnes noe slik politisk mål.

I 2030 gir denne pakken en utslippsreduksjon på 5,0 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i forhold til referansebanen. Dette tilsvarer en reduksjon med 27 prosent sammenlignet med utslippet i referansebanen, se Figur 4-38. Transportsektoren vil etter gjennomføringen av tiltakene ha et utslipp på 13,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, noe som er det samme utslippet som sektoren hadde i 1990. I forhold til dagens utslipp (2012-utslipp) reduserer denne tiltakspakken utslippene med 23 prosent. Det gjennomsnittlige utslippet fra personbilparken vil være redusert til ca. 85 g/km (inklusive biodrivstoff-innblanding).

Som følge av tiltakene vil transportsektoren i 2030 ha et økt kraftbehov på 4,2-8,0 TWh. Dersom alle nullutslippskjøretøy (personbiler, varebiler, lastebiler og busser) benytter batterielektrisk drift vil kraftforbruket ligge i den nedre delen av intervallet. Hvis kjøretøyene i hovedsak benytter hydrogenteknologi vil kraftbehovet ligge i den øvre delen av intervallet på grunn av energitap i hydrogenproduksjon med mer. I tillegg fører tiltakene til et behov for 4,3 TWh biodrivstoff utover dagens forbruk av biodrivstoff. Dette tilsvarer rundt 380 millioner liter biodrivstoff til veitransport og ca. 135 millioner liter biodrivstoff til skip.

Tiltakspakke 2 - Også noen dyrere og vanskeligere tiltak

I denne tiltakspakken er det følgende tiltak som er inkludert:

- Nullvekst personbil-kilometer i hele landet
- Overføring av 10 prosent gods fra vei til bane
- Alle nullutslippsteknologitiltakene for vei
- Hybridteknologi store personbiler og lastebiler
- +20 prosentpoeng biodrivstoff til vei-transport
- 20 prosent biodrivstoff til skip
- 10 prosent biodrivstoff til andre mobile kilder og innenriks fly

- Landstrøm til skip ved kai
- Energieffektivisering skip

Totalt gir denne pakken en utslippsreduksjon på 9,1 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Dette tilsvarer en reduksjon av utslippene med 50 prosent i forhold til referansebanen, eller med 31 prosent sammenlignet med utslippene fra transportsektoren i 1990. I forhold til 2012-utslipp gir dette en utslippsreduksjon på 47 prosent. Figur 4-39 viser størrelsen på de ulike tiltakene når overlapp er trukket fra. Det gjennomsnittlige utslippet fra personbilparken vil være redusert til ca. 40 g/km (inklusive biodrivstoff-innblandingen).

Tiltakspakke 3 - Også de dyre og krevende tiltakene

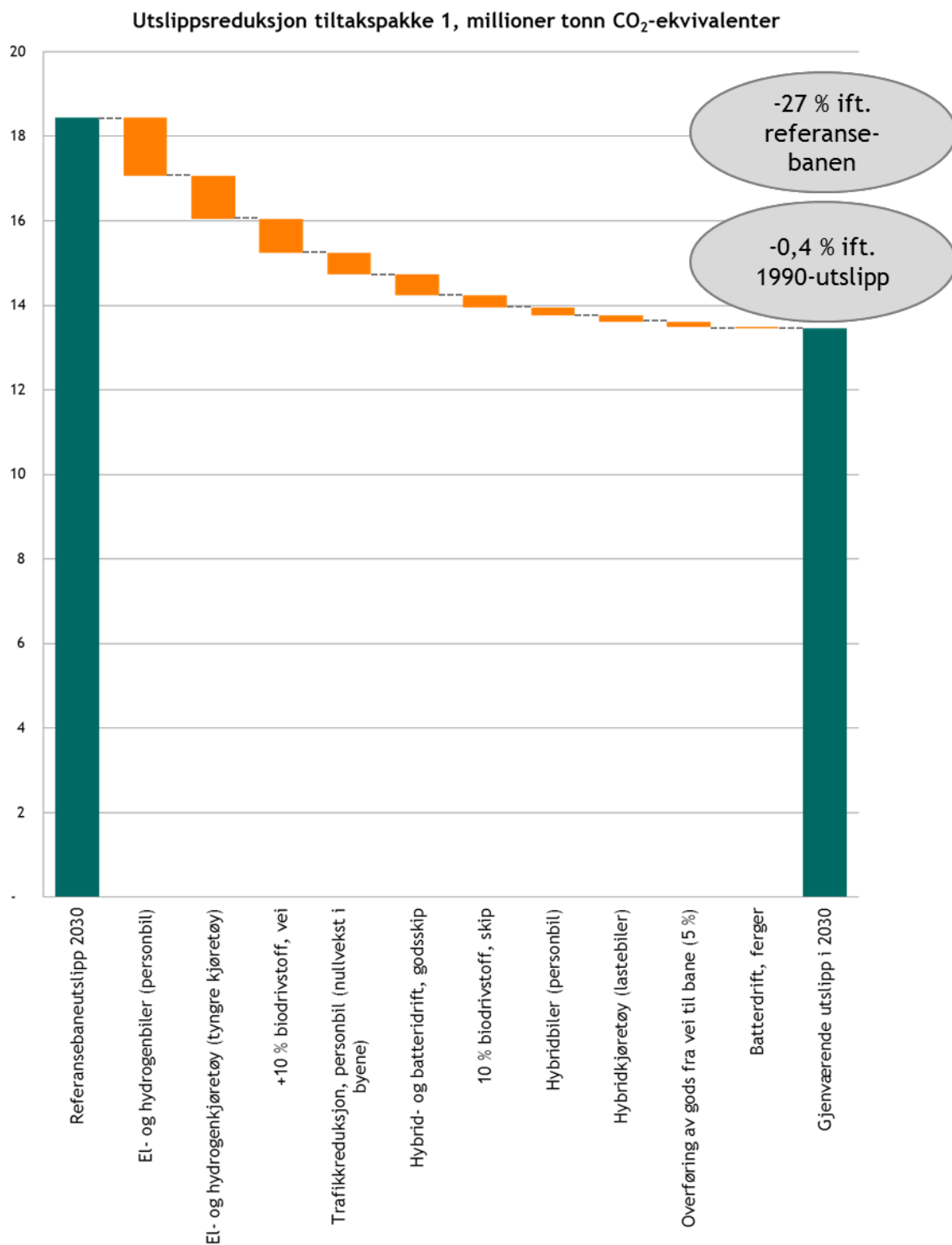
Denne tiltakspakken inkluderer følgende tiltak:

- -10 prosent reduksjon av personbil-km i 2030 i forhold til 2010
- Overføring av 20 prosent av gods fra vei til bane
- Alle nullutslippsteknologitiltak for vei
- Alle hybridteknologitiltak for vei
- + 40 prosentpoeng biodrivstoff veigående transport
- 40 prosent biodrivstoff, skip
- 20 prosent biodrivstoff andre mobile kilder
- 20 prosent biojetfuel til alle innenriks flyvinger
- Landstrøm og energieffektivisering, skip
- Elektrifisering gjenværende diesel-strekninger på jernbane

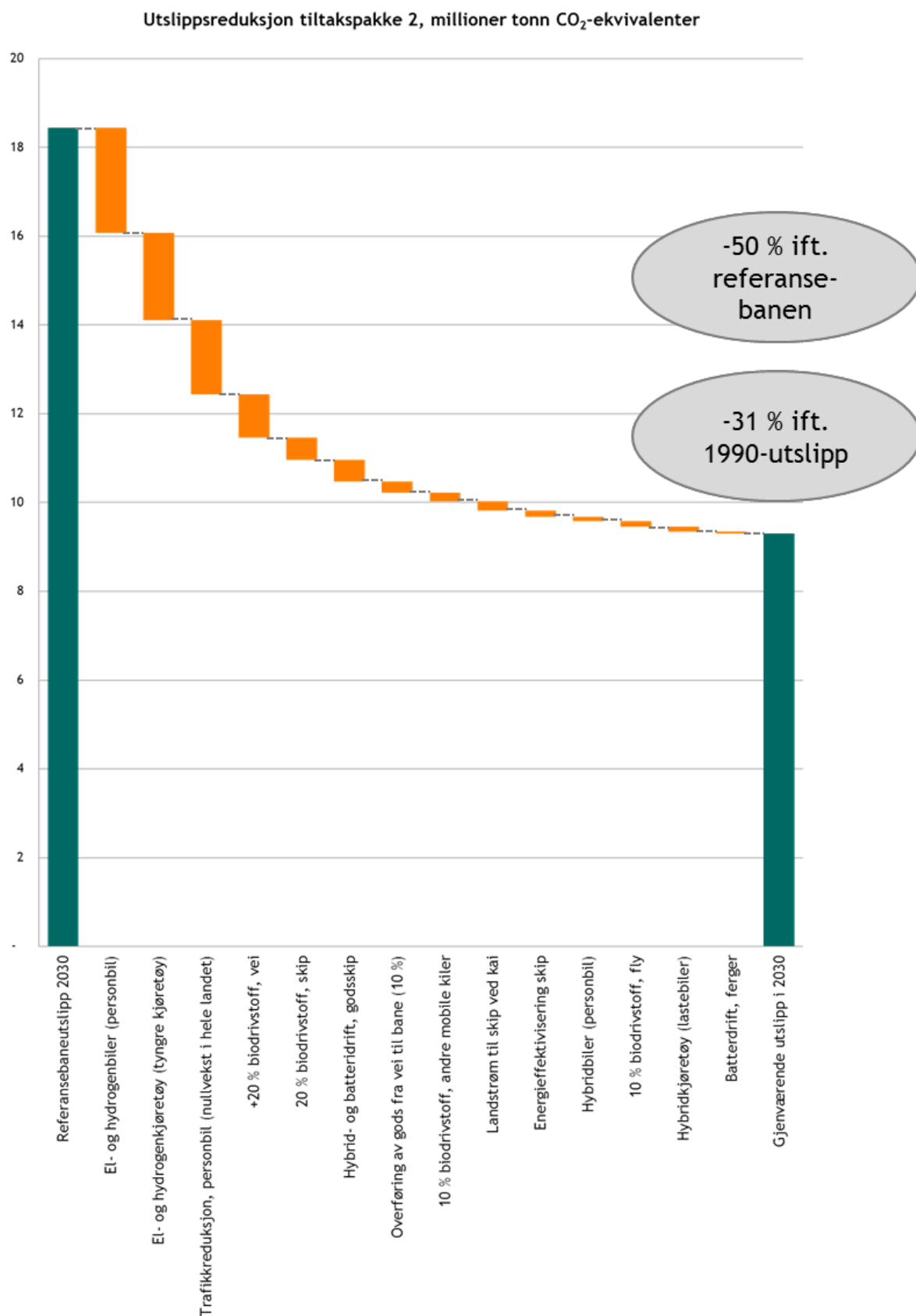
De totale utslippsreduksjonene som følge av denne tiltakspakken ligger på rundt 10,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Dette er en reduksjon på 58 prosent av referansebanen eller 42 prosent i forhold til 1990-utslippene. Sammenlignet med utslippene i 2012 vil denne pakken om lag halvere utslippene fra transportsektoren (reduksjon på rundt 55 prosent), se også Figur 4-40. Det gjennomsnittlige utslippet fra personbilparken vil være redusert til ca. 30 g/km (inklusive biodrivstoff-innblandingen).

Som følge av tiltakene vil transportsektoren ha et økt kraftbehov på 8,0-16,0 TWh og et økt behov for ca. 14,6 TWh biodrivstoff i 2030. For biodrivstoff tilsvarer dette et behov på rundt 950 millioner liter biodrivstoff til veitransport, 485 millioner liter til skip, 160 millioner liter til andre mobile kilder og 100 millioner liter biojetfuel.

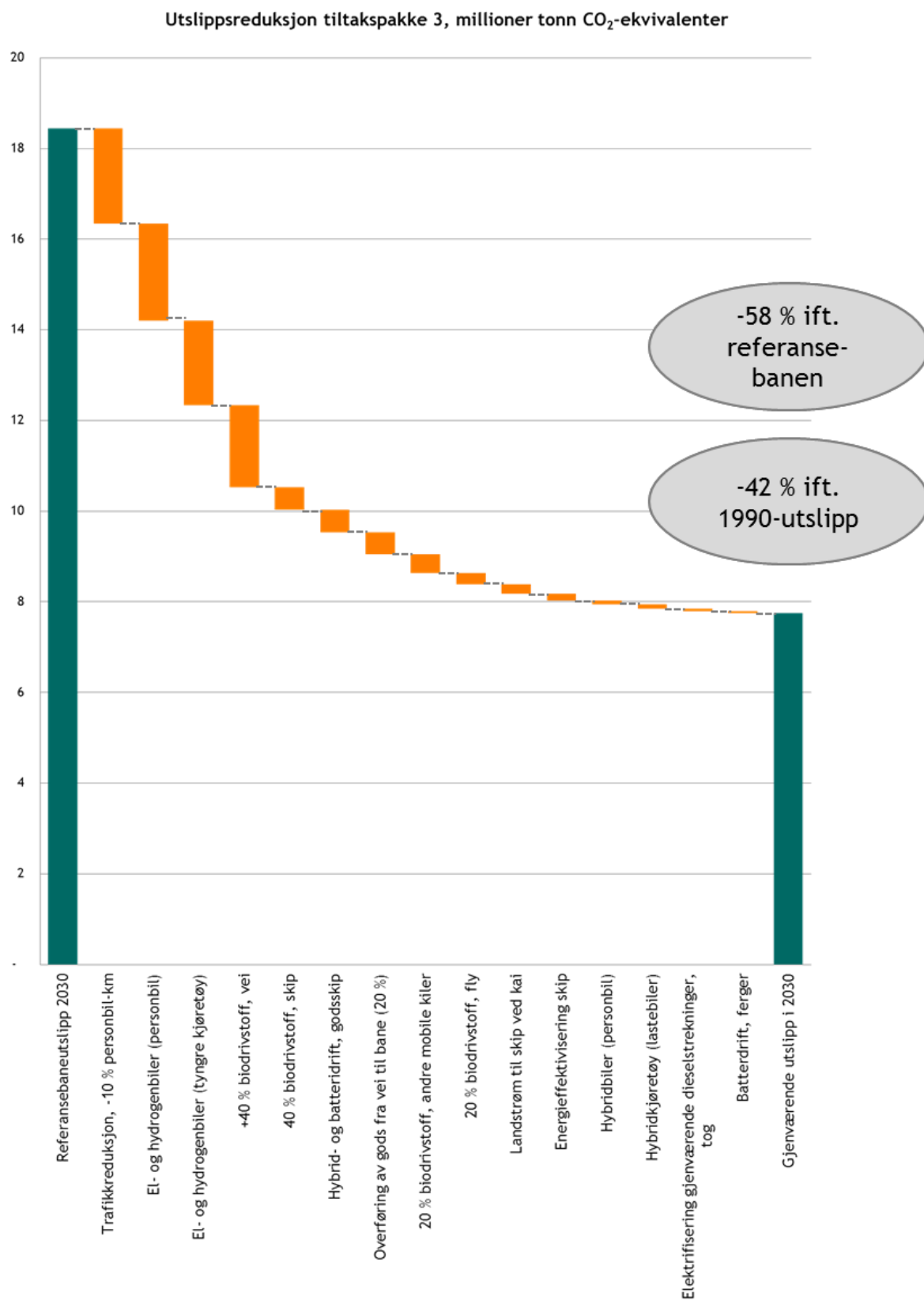
Dersom biojetfuel tilstrekkelig til 20 prosent innblanding skal produseres i Norge basert på biomasse fra skog, tilsvarer dette et forbruk av i underkant av 2 millioner fastkubikkmeter massevirke og skogsavfall per år. Produksjonen av biojetfuel vil også gi produksjon av biodiesel. Dersom det produseres 100 millioner liter biojetfuel basert på norsk biomasse, vil det bli produsert tilsvarende mengde biodiesel som for eksempel kan benyttes til veitransport.



Figur 4-38 Utslippsreduksjoner som følge av tiltakspakke 1. Tiltakene er sortert etter størrelse på utslippsreduksjonen.



Figur 4-39 Utslippsreduksjoner som følge av tiltakspakke 2. Tiltakene er sortert etter størrelse på utslippsreduksjonen.



Figur 4-40 Utslippsreduksjoner som følge av tiltakspakke 3. Tiltakene er sortert etter størrelse på utslippsreduksjonen.

4.4.5.1 Konsekvenser av tiltakspakkene

Utslipps- og energikonsekvensene for tiltakspakkene er beskrevet under hver tiltakspakke. Her beskrives i tillegg noen konsekvenser på tvers av tiltakspakkene.

Produksjonsutslipp batteri-elektriske biler

I alle tiltakspakkene blir mange bensin- og dieslbiler erstattet av elektriske biler. Framstillingen av disse bilene fører til økte utslipp i produksjonslandet fordi en batteri-elektrisk bil i dag fører til et noe høyere utslipp enn produksjonsutslippet fra en tilsvarende bensin- eller diesebil. Disse økte utslippene er i hovedsak knyttet til forbruk av elektrisk kraft knyttet til batteriproduksjonen - det er altså ikke egentlig elbil-produksjonen som er "skitten", men kraftproduksjonen i landene som produserer elektriske biler. Når kraftproduksjonen i disse landene blir mindre CO₂-intensiv over tid, vil også det økte produksjonsutslippet knyttet til elektriske biler bli redusert.

Målkonflikter og vann-vinn-tiltakene

Noen av tiltakene som er beskrevet i dette kapitlet vil føre til effekter som vil gjøre det vanskeligere å oppnå andre mål. Dette inkluderer følgende tiltak (listen er ikke uttømmende):

- Økt bruk av biodrivstoff: Noen typer biodrivstoff fører til en økning av utslippet av helsefarlige komponenter som partikler. En økt innblanding av biodrivstoff vil derfor kunne føre til en forverring av luftkvaliteten og gjøre det vanskeligere å nå nasjonale mål for luftkvalitet. I tillegg er det en potensiell konflikt mellom dyrking av råstoff til biodrivstoffproduksjon og biomangfold.
- Reduksjon av transportvolum: En fortetting av bosettingsmønsteret kan redusere transportbehovet, og spesielt behovet for personbil. Dette vil kunne være i konflikt med ønsket om spredt bosetting/opprettholdelse av innbyggertallet i distriktene.
- Bruk av hydrogen og syntetisk drivstoff: Fordi virkningsgraden er lav ved produksjon og anvendelse av hydrogen og syntetisk drivstoff, vil en stor implementering av disse teknologiene føre til et høyt energibehov. Disse tiltakene vil derfor ikke føre til energieffektivisering av transportsektoren.

Flere av tiltakene vil føre til andre positive effekter utover en reduksjon av klimagassutslippene. Dette inkluderer følgende tiltak (listen er ikke uttømmende):

- Batteri-elektriske- og hydrogen-kjøretøy fører ikke til helseskadelige eksosutslipp og vil dermed bidra til en betydelig forbedring av luftkvaliteten. Samtidig fører disse teknologiene til reduserte støynivåer.
- Trafikkreduserende tiltak og tiltak som overfører trafikk fra bil til sykkel og gange reduserer både utslipp av helseskadelige stoffer, støybelastningen og er mindre ressurs- og arealkrevende.
- Batteri-elektriske kjøretøy har en betydelig høyere virkningsgrad enn dagens forbrenningsmotorer (bensin- og dieslbiler), slik at en overgang til elektriske kjøretøy vil føre til en energieffektivisering.

Trafikkvolum og energibehov

Som beskrevet tidligere fører den mest ambisiøse tiltakspakken til et økt netto kraftbehov på 8-16 TWh og et økt nettobehov for biodrivstoff i størrelsesorden 15 TWh. Det er viktig å merke seg at energietterspørselen vil bli betydelig høyere dersom de tekniske tiltakene (el- og hydrogendrift) og biodrivstoffinnblanding innføres uten at trafikkreduserende tiltak blir gjennomført samtidig. Tiltaket "10 prosent reduksjon av personbil-km i forhold til 2010 i hele landet" reduserer for eksempel antall kjøretøy-kilometer for personbiler med cirka 15 000 millioner kilometer i 2030. Dersom denne distansen kjøres med elbiler tilsvarer det et energibehov på cirka 3 TWh, mens den

samme distansen med hydrogenbiler krever rundt 7 TWh. Tiltakspakke 3 uten tiltakene "10 prosent reduksjon av personbil-kilometer i forhold til 2010 i hele landet" og "overføring av 20 prosent gods fra vei til bane" vil i tillegg kreve rundt 1 TWh biodrivstoff mer enn dersom man gjennomfører hele pakken.

4.4.6 Oppsummering

Utslipp fra transportsektoren står for rundt 1/3 av norske klimagassutslipp og utviklingen i utslippene tilsier at de vil kunne øke framover. Dette skyldes både befolkningsveksten og økt velstand som gjør at vi reiser oftere og lengre (økt persontransport), og produserer og kjøper mer (økt godstransport).

Utslippsreducerende tiltak i transportsektoren kan grovt deles i to kategorier: Tiltak som endrer aktivitetsnivå (reduisert trafikkarbeid eller skifte av transportform, for eksempel fra bil til sykkel) og tekniske tiltak som endrer utslipp per kilometer (innblanding av biodrivstoff, nullutslippsteknologi etc.). En gjennomgang av teknologimulighetene tilsier at det kan være mulig å nå veldig lave eller nullutslipp fra transportsektoren i 2050 ved å kombinere disse to typene tiltak, men dette krever at man gjennomfører mange tiltak i løpet av kort tid. I tillegg kreves en god del teknologiutvikling og en smartere arealplanlegging enn vi har i dag for å oppnå denne utslippsreduksjonen.

Risikofaktorene som kan gjøre det vanskeligere/dyrere eller umulig å nå nullutslipp i transportsektoren inkluderer:

- Sen/manglende teknologiutvikling (hydrogen, batterielektrisk, avansert biodrivstoff)
- Utilstrekkelig/lite samordnet areal- og transportplanlegging som gir en infrastruktur som krever mye transport med bil og et stort transportbehov
- Sterkere befolkningsvekst enn antatt
- Ressurstilgang, spesielt for biomasse
- Økonomisk utvikling kan trekke i begge retninger: På den ene siden kan høy økonomisk vekst bidra til større transportvolum, mens på den andre siden kan økonomisk vekst gi handlingsrom til å investere i ny teknologi og infrastruktur

Gitt at personbilparken skal være utslippsfri i 2050 bør det ikke selges biler som benytter fossil diesel eller bensin etter 2030, siden den gjennomsnittlige levetiden til personbiler er på rundt 18 år. Varebiler har en gjennomsnittlig levetid på 15 år og alle nye varebiler bør derfor være utstyrt med nullutslippsteknologi senest i 2035. Tunge kjøretøy (lastebiler og busser) og anleggsmaskiner som benyttes mye har en betydelig kortere levetid (typisk 5-10 år avhengig av bruksmønster). For å oppnå 100 prosent nullutslippskjøretøy i denne gruppen kan el-, hydrogen- eller biodrivstoffkjøretøy derfor fases inn i en saktere takt. For å stimulere til teknologiutvikling, for å redusere akkumulerte utslipp over tid og for å redusere helseskadelige utslipp vil det her likevel være viktig å fase inn flere lav- og nullutslippskjøretøy allerede før 2030. Skip har typisk en veldig lang levetid (30 år). Fordi teknologien ikke er moden nok til at man kan forvente 100 prosent elektrisk- eller hydrogendrift på nye skip allerede om noen år, vil man enten måtte bytte ut skip/motoren før 2050 når nullutslippsteknologi er mer moden, eller benytte større mengder biodrivstoff i 2050.

God arealplanlegging gir en langsiktig effekt på transportomfanget. Det er viktig å tilrettelegge for at befolkningsveksten ikke fører til en tilsvarende stor økning i transportbehov, f.eks. ved å plassere nye boliger, store arbeidsplasser og servicetilbud (kjøpesenter, helsetjenester og lignende) i nærheten av kollektivknutepunkter. Innføring av bilfrie bykjerne og forbedring av kollektivtilbudet og sykkelveier vil også føre til redusert bruk av personbil på mange korte turer. I tillegg vil for eksempel økt bruk av hjemmekontor og videomøter kunne redusere transportbehovet.

Vi har analysert ulike tiltak som reduserer transportens klimagassutslipp i 2030 og sett på effekten av sammensettinger av disse i tre tiltakspakker. Utslippseffekten av tiltakene, forventet tiltakskostnad og gjennomførbarhet er oppsummert i Tabell 4-16.

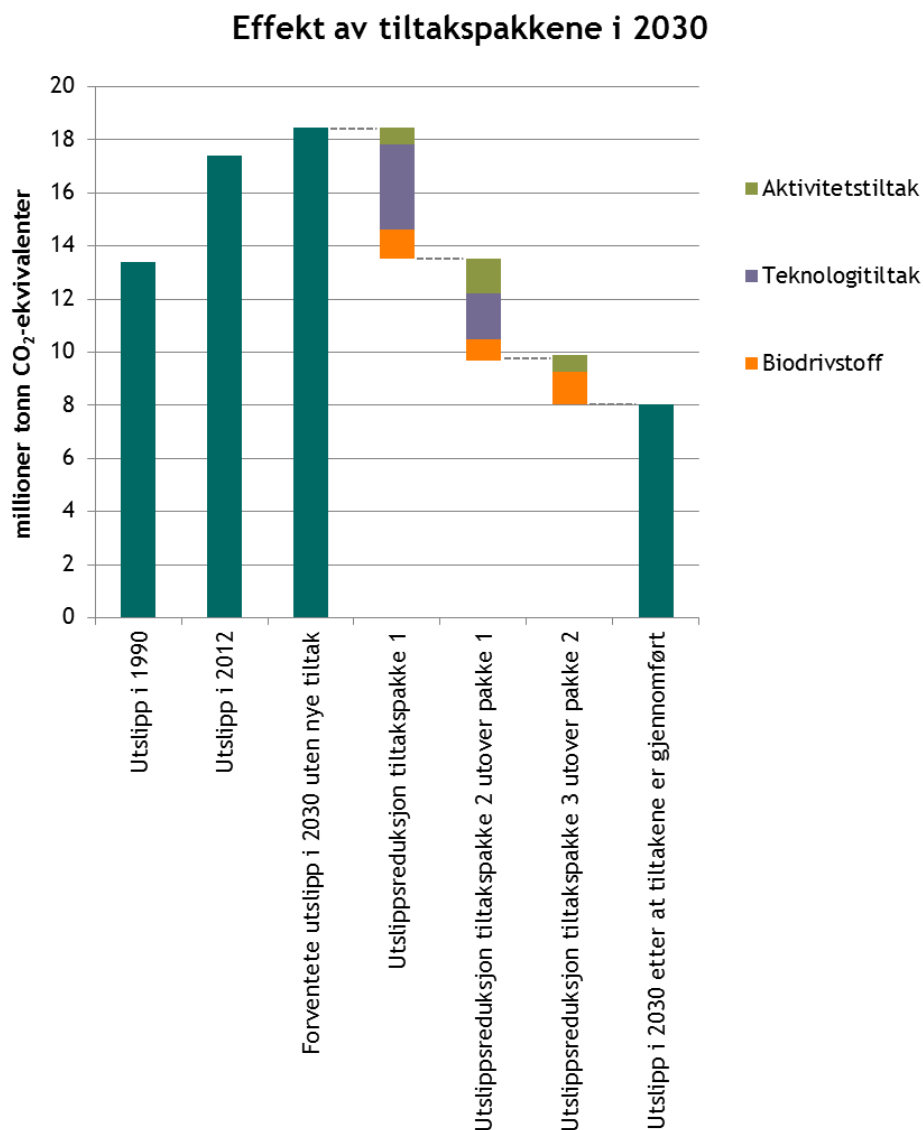
Tiltakspakkene er oppsummert i Tabell 4-17 og Figur 4-41 under. Forutsetningene for tiltakene er beskrevet i kapittel "Tiltaksanalyse mot 2030". Tiltakene er forsøkt skalert slik at man i 2030 er på god vei mot et lavutslippssamfunn i 2050. Beregningene og vurderingene er basert på tiltakskostnader som er noen år gamle og må anses som relativ usikker.

Dersom tiltakspakke 1 (de rimeligste og enkleste tiltakene) gjennomføres, anslår vi utslippsreduksjonen i 2030 til å ligge på rundt 5,0 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i forhold til referansebanen i 2030. Dette tilsvarer en reduksjon på 27 prosent sammenlignet med 2030-utslippene fra transportsektoren. Dersom tiltakspakke 2 gjennomføres, vil dette kunne gi en utslippsreduksjon på rundt 9,1 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. En gjennomføring av tiltakspakke 3, som inkluderer dyre og krevende tiltak, vil kunne gi en utslippsreduksjon på rundt 10,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Dette tilsvarer en reduksjon med 42 prosent sammenlignet med 1990-utslipp fra transportsektoren. Forskjellen mellom tiltakspakke 2 og tiltakspakke 3 er estimert til å gi en relativt beskjeden økning av utslippsreduksjonene med ca. 1,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, samtidig som vi forventer at pakke 3 er betydelig dyrere og vanskeligere å få gjennomført.

Tabell 4-17 Utslippseffekten av tiltakspakkene i 2030.

Tiltakspakke	Utslippsreduksjonen i 2030 i millioner tonn CO ₂ -ekv.	Prosentvis utslippsreduksjon ift. 2030-referansebanen	Prosentvis utslippsreduksjon ift. 2012-utslipp	Prosentvis utslippsreduksjon ift. 1990-utslipp
1	5,0	27 %	23 %	-0,4 %
2	9,1	50 %	47 %	31 %
3	10,7	58 %	55 %	42 %

Teknologitiltakene (elektrisk-, hydrogen- og hybriddrift for ulike kjøretøy) forventes å gi den største delen av utslippsreduksjonene i tiltakspakke 1 (66 prosent), se Figur 4-41. Aktivitetsstiltak og biodrivstoff bidrar med henholdsvis 12 prosent og 22 prosent i denne pakken. I tiltakspakke 2 gir teknologitiltakene 59 prosent av utslippsreduksjonen, mens aktivitetstiltakene og biodrivstoff gir henholdsvis 21 og 20 prosent av utslippsreduksjonen. Biodrivstoff blir viktigere i tiltakspakke 3, der økt bruk av biodrivstoff gir 28 prosent av utslippsreduksjonene. Likevel er fortsatt teknologitiltakene viktigst med 48 prosent.



Figur 4-41 Historiske og forventete framtidige utslipp fra transportsektoren og utslippsreduksjonspotensialet i tiltakspakkene sortert etter aktivitets-tiltak (trafikkreduksjon/omfordeling), teknologi (batteri-, hydrogen- og hybriddrift) og biodrivstoff.

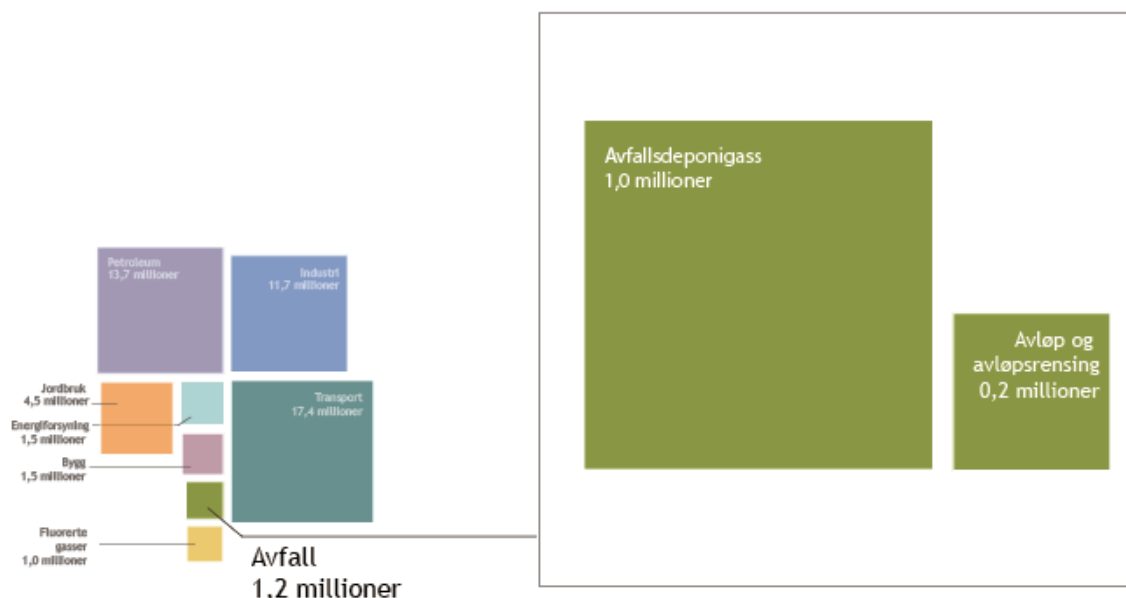
De fleste tiltakene vil kreve en fortsettelse og/eller styrking av eksisterende virkemidler og/eller innføring av nye. Det er en kombinasjon av mange virkemidler som til sammen kan gi utslippsreduksjonene som er beskrevet her, noen av de viktigste vil være:

- Forbedret areal- og transportplanlegging for å redusere transportbehovet
- Forsterket utbygging av kollektivtransport og tilhørende infrastruktur
- Økte avgifter på forurensning (CO₂-utslipp) og veibruk
- Investering i infrastruktur for nullutslippsteknologi (ladestasjoner for elbiler og hydrogenbiler, tilrettelegging for høyinnblandet biodrivstoff)
- Incentiver som fører til en innfasing av lav- eller nullutslippsteknologi, som sterkere differensiering av engangsavgiften

4.5 Avfallssektoren

Utslipp av klimagasser fra avfallssektoren i 2012

Utslipp til luft (tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 4-42: Utslipp fra avfallssektoren i 2012.

4.5.1 Innledning

Kapittelet omhandler avfallssektorens rolle på veien mot lavutslippssamfunnet. Innledningsvis gjør vi rede for hva sektoren omfatter. Deretter beskrives utslippene, utslippsutviklingen siden 1990 og hvordan utslippene forventes å bli fram mot 2050 basert på framskrivninger for sektoren med dagens tiltak og virkemidler. Gjennomgangen danner grunnlag for en drøfting av mulighetene for å eliminere klimagassutslippene fra sektoren på lang sikt, samt mulige tiltak for å redusere utslippene fram mot 2025 og 2030. Tiltak i avfallssektoren er samlet under to kategorier; tiltak som hovedsakelig reduserer klimagassutslippene fra avfallssektoren og tiltak som bidrar til reduserte utslipp i andre sektorer.

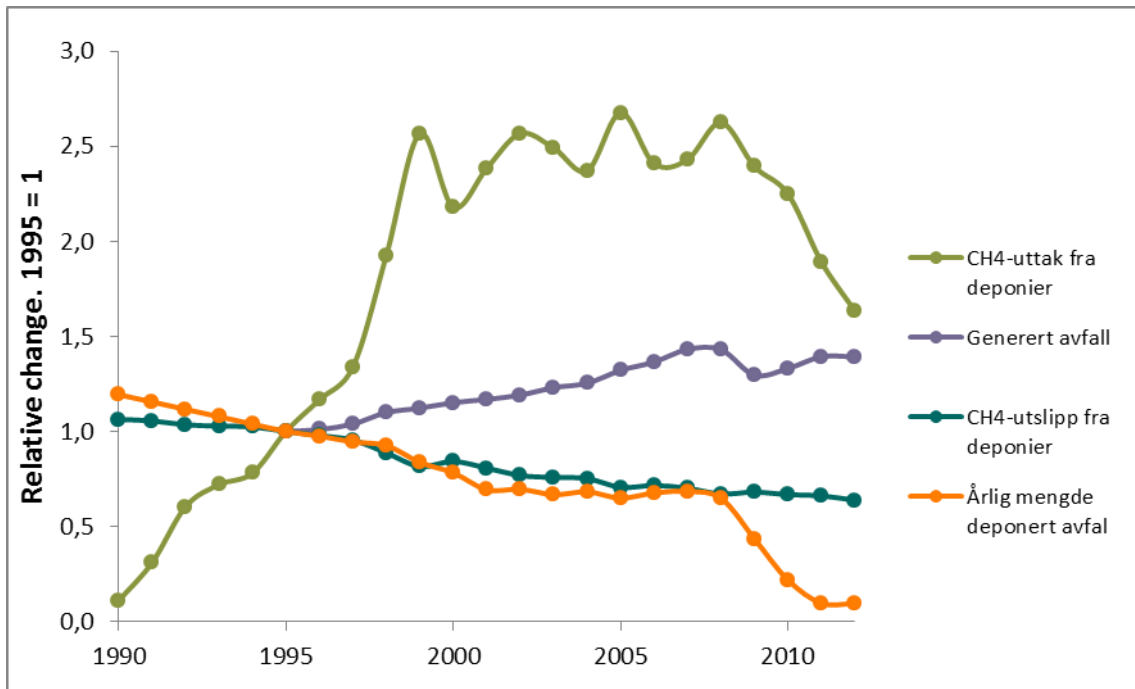
Avfallssektoren omfatter klimagassutslipp fra avfallsdeponier, avløp og avløpsrensing. Utslipp fra avfallsdeponier er den største kilden til klimagassutslipp, men forbudet mot deponering av biologisk nedbrytbart avfall gjør at klimagassutslippene i avfallssektoren gradvis reduseres. I et lavutslippsperspektiv er avfallssektorens viktigste bidrag tiltak som fremmer material-gjenvinning og biologisk behandling. Materialgjenvinning, biologisk behandling og forbrenning av avfall gir utslippsreduksjoner ved at framstilling av nye råvarer og produkter reduseres, og at energien i avfallet utnyttes og dermed erstatter annen energiproduksjon med større klimagassutslipp.

4.5.2 Historiske utslipp og framskrivninger

Avfallssektoren stod i 2012 for i overkant av 2 % av det totale utslippet av klimagasser i Norge, med utslipp av 1,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Utslippene omfatter i hovedsak metan fra nedbrytning av organisk avfall i avfallsdeponier og metan- og lystgassutslipp fra avløpsrensing. Tidligere inngikk utslipp fra avfallsforbrenning uten energiutnyttelse i avfallssektoren, men nå

inngår alle utslipp fra avfallsforbrenning i fjernvarmesektoren i utslippsregnskapet. Figur 4-43 viser utslipp fra avfallssektoren i 2012 fordelt på kilder.

Avfallsdeponier er den dominerende kilden, med 87 prosent av klimautslippene i avfallssektoren i 2012. Figur 4-43 viser at mengden generert avfall har økt med 33 prosent fra 1990 til 2010, samtidig som mengden deponert avfall og metanutslippet har gått ned med 80 prosent siden 1990 (SSB, 2014a). I tillegg viser figuren 157 prosent økning i uttak av metangass fra deponiene fra 1995 til 1999. Årsaken til disse trendene er innføring av virkemidler omtalt i faktaboks om virkemidler.



Figur 4-43: Metanuttak og -utslipp fra avfallsdeponier, generert mengde avfall og deponert avfall.

Utslipp fra avløp og avløpsrensing utgjorde 13 prosent av utslippene fra avfallssektoren i 2012. Utslippene består i hovedsak av lystgass, som dannes i avløpsnett (65 prosent) og på renseanlegg med biologisk nitrogenfjerning (35 prosent). Lystgassutslippene fra renseanlegg er for det meste avdriving av nitrogen fra nitrogenfjerningsanlegg. Metan dannes hovedsakelig i slamfasen, der det er anaerobe forhold.

Virkemidler i avfallssektoren

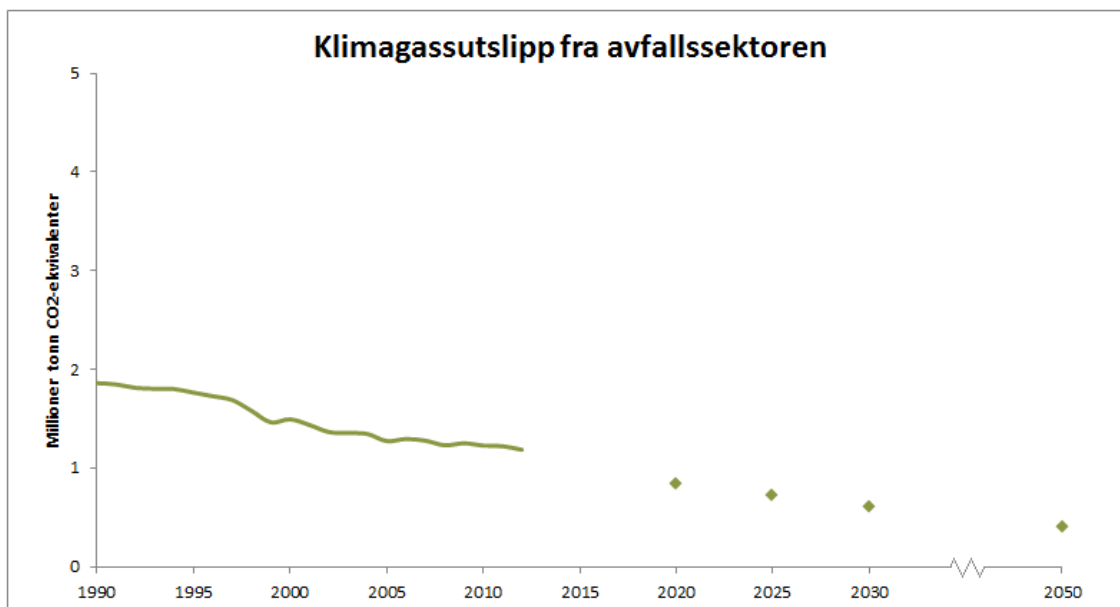
Forurensningsloven og avfallsforskriften er sentrale i reguleringen av avfallshåndteringen, og store deler av regelverket er basert på EU-regelverk med enkelte nasjonale tilpasninger. Avfallsforskriften har blant annet et forbud mot deponering av biologisk nedbrytbart avfall og krav til oppsamling og behandling av deponigass, som er viktige krav for å redusere klimagassutslippene.

Avfall fra bygg- og anleggsvirksomhet og behandlingen av dette avfallet reguleres gjennom byggt teknisk forskrift og forurensningsloven. Videre kan lover og forskrifter på andre områder enn miljøområdet påvirke hvilke avfallsmengder som oppstår og behandlingen av avfallet.

Utvidet produsentansvar gir produsentene ansvar for produktene også når de har blitt avfall. Dette er et sentralt virkemiddel for å fremme materialgjenvinning og forsvarlig håndtering av utvalgte avfallstyper. I tillegg kan produsentansvar og bransjeavtaler være et virkemiddel for å fremme avfallsforebygging og utvikling av miljøvennlige produkter.

Det er innført avgifter for å styre avfallet mot behandlingsmåter som gir bedre utnyttelse av ressursene i avfallet, og for å redusere miljøskadelige utslipp.

Utslippsutviklingen fra avfallssektoren de siste 20 årene og fram til 2030, framgår av Figur 4-44. Utslippsreduksjonene fra deponier de siste 20 årene er store. I 2012 var utslippet 1,03 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Framskrivingene viser at utslippsnivået fra avfallssektoren i 2030 om lag halveres, med et utslipp av klimagasser fra deponier og avløpsrensaneanlegg i størrelsesorden 610 000 tonn CO₂-ekvivalenter, der utslipp fra deponier utgjør 440 000 tonn CO₂-ekvivalenter. Utslippet i 2050 er beregnet til å være 400 000 tonn CO₂-ekvivalenter, hvor utslipp fra deponier utgjør om lag 240 000 tonn CO₂-ekvivalenter.



Figur 4-44: Utslippsutvikling (1990–2012) og framskrivinger (2020–2050) for avfallssektoren.

4.5.3 Avfallssektoren i et lavutslippssamfunn

Klimagassutslippene fra avfallssektoren forventes å være lave i 2050. Det er først og fremst ved bruk av ressursene i avfall til substitusjon av jomfruelige råvarer at avfallssektoren kan bidra til klimagasskutt. Denne utslippsreduksjonen skjer hovedsakelig i andre sektorer. Avfallsmengdene må reduseres og en stor andel av avfallet bør gå til materialgjenvinning og biologisk behandling. Dette vil også gi positive effekter i andre land.

4.5.3.1 Minimerte klimagassutslipp i avfallssektoren i 2050

Avfallsforebygging mot 2050

De viktigste strukturelle endringene som påvirker genereringen av avfall i Norge er befolkningsvekst og økonomisk vekst. Siden 1995 har avfallsgenereringen vokst omtrent i takt med økonomien for øvrig. SSBs framskrivinger mot 2020 viser at avfallsmengdene vil fortsette å øke i omfang, og det er rimelig å anta at denne utviklingen også vil fortsette etter dette om det ikke iverksettes nye tiltak og virkemidler. Knapphet på ressurser og økte råvarepriser kan imidlertid bidra til å endre på dette bildet.

Avfallsforebygging bidrar til reduserte klimagassutslipp gjennom livsløpet fra framstilling av råvare og produkt til avfallsbehandling. I avfallssektoren gir reduserte avfallsmengder reduserte utslipp fra sortering, transport og behandling av avfall. Dette er også i tråd med EUs politikk på området, slik den kommer til uttrykk gjennom EUs avfallshierarki og EUs arbeid med overgang til en sirkulær økonomi, jf. kapittel 4.5.3.2. Det vil være av vesentlig betydning for lavutslippssamfunnet (globalt) om avfallsmengdene er betydelig reduserte.

Arbeidet med å identifisere relevante områder for avfallsforebyggende tiltak i Norge er i en tidlig fase. I avfallsstrategien trekkes matavfall, bygg- og anleggsavfall, emballasjeavfall, tekstiler og EE-avfall fram som områder med stort potensial for avfallsforebygging. EU-Kommisjonen har foreslått skjerpede krav til avfallsforebygging for de kommende årene, og trolig vil EU-regelverket styrkes i tiden fram mot 2050 i tråd med EUs langsiktige strategier. Dette vil påvirke norsk politikk og regelverk.

For matavfall er det ti ganger mer klimaeffektivt å hindre at matavfallet oppstår, enn å lage biogass av den samme mengden (Raadal, 2014). Omtale av tiltak og effekter ved å kaste mindre mat gis i jordbrukskapittelet. På andre områder har vi ikke kvantifisert reduserte klimagassutslipp som følge av avfallsforebyggende tiltak.

Deponigass fra avfallsdeponier

Avfallsdeponiene står for den største delen av klimagassutslippene fra avfallssektoren. Samtidig viser statistikken at både årlig mengde avfall til deponi og genererte metanutslipp fra deponier går ned. Årsaken til dette tilskrives virkemidlene som er innført de siste 10-15 årene for å begrense deponeringen av biologisk nedbrytbart avfall. Nedbrytning av avfall i avfallsdeponiene og forbud mot deponering av våtorganisk avfall, gjør at de beregnede utslippene fra avfallsdeponiene har blitt redusert og vil fortsette å reduseres i årene framover. Samtidig viser graving i eldre deponier at nedbrytningen av avfallet kan ta lenger tid enn antatt, og at det dermed er en viss usikkerhet i framskrivingene. Stadig forbedring av teknologi som ligger til grunn for uttak, oppsamling samt økt bruk eller fakling av deponigass, kan bidra til økt uttak og mer effektiv utnyttelse av deponigassen. For å redusere klimagassutslippene vil det derfor fortsatt være viktig å ha fokus på uttak og ulik anvendelse av deponigass. Vi har ikke kvantifisert effektene av dette tiltaket.

Avløpsrenseanlegg

Avløpsrenseanleggene er utslippskilde hovedsakelig for lystgass fra ledningsnett og i renseanlegg. Det er bare noen få renseanlegg i Norge som har nitrogenfjerning, hovedsakelig knyttet til områdene rundt indre Oslofjord, der nitrogennivåene tidligere har bidratt til eutrofiering. Lystgassutslippene er i hovedsak avhengig av nitrogeninnhold i avløpet, og dannes primært ved nitrifiserings- og denitrifiseringsprosesser. Disse prosessene skjer også i elver og vann der avløpsvannet ender opp. Fordi lystgassutslippene er en direkte følge av nitrogeninnholdet i avløpsvannet og utslippet kommer enten på renseanlegg eller i ledningsnett/resipient, er det små muligheter for å redusere disse utslippene.

Avløpsrenseanleggene produserer store mengder avløpsslam. I dette slammet dannes noe metan. Slik vi beskriver i kapitlene under, kan metanen tas ut og benyttes som biogass til for eksempel transportformål eller internt i anleggene. Om lag 2/3 av avløpsslammet benyttes til biogassformål allerede, enten internt i anlegget eller som drivstoff til busser. Størstedelen av avløpsslammet brukes i dag som jordforbedrer eller gjødsel i jordbruket eller hagesektoren.

Komposteringsanlegg

Kompostering av våtorganisk avfall (for eksempel matavfall, park- og hageavfall og avløpsslam) forutsetter tilgang på luft. Dersom komposteringsprosessen ikke foregår optimalt og det ikke er tilstrekkelig tilgang til oksygen, kan prosessen bli anaerob og det vil dannes metan. Dette prøver man å unngå. I de siste retningslinjene for utslippsberegninger fra IPCC pekes det på at metanutslippet kan variere fra under 1 prosent til noen få prosent av opprinnelig karboninnhold. Det vises samtidig til at størstedelen av metangassen fra anaerobe seksjoner i kompostranken blir oksidert i aerobe deler. Det pekes også på at det kan dannes lystgass ved kompostering, og at utslippet varierer fra mindre enn 0,5 til 5 prosent av opprinnelig nitrogeninnhold.

I utslippsregnskapet er metanutslipp fra komposteringsanlegg foreløpig ikke inkludert, men det skal rapporteres fra og med 2015 i tråd med nye retningslinjer for utslippsrapportering. Fortsatt fokus på opplæring og ivaretagelse av god komposteringspraksis er viktige faktorer for å holde klimagassutslippene lavest mulig. Vi har ikke kvantifisert effektene av tiltak.

Biogassanlegg

I biogassanlegg skjer det en nedbrytning av organisk materiale under anaerobe forhold i en reaktor, noe som fører til dannelse av metangass. Biogassen kan benyttes til energiformål, og produsere varme, elektrisitet, eller oppgraderes til drivstoffkvalitet (biometan). Retningslinjer for utslippsrapportering tilsier at utslipp fra produksjonen i biogassanlegg vanligvis føres under energisektoren. Det pekes på at utslipp av metan fra utilsiktede lekkasjer under produksjonsprosessen (som avbrudd eller uventede hendelser), vanligvis vil utgjøre mellom 0 til 10 prosent av generert mengde metan. Lystgassutslipp fra produksjonsanlegg regnes å være neglisjerbare. Siden CO₂-utslippene stammer fra biomasse, skal ikke dette utslippet telles i det fremtidige utslippsregnskapet.

For å sikre høy teknisk standard, er det i dag stadig utvikling av krav til anlegg som en del av arbeidet under Industriutslippsdirektivet, IED. Anlegg som er over en viss størrelse vil måtte forholde seg til de beste standardene (BAT: Best Available Technique) som finnes. BREFene (BAT+ Reference Documents) under direktivet er under revisjon og vil gi føringer for hvilke teknologier som kan brukes ved drift av biogassanlegg. For mindre anlegg kan det være aktuelt å legge til tekniske krav i anleggenes utslippstillatelser for å sikre at metanlekkasjer minimeres. Vi har ikke kvantifisert effekten av tiltak som optimaliserer drift av anleggene.

Økt bruk og videreutvikling av teknologi i avfallssektoren

Det blir behov for forbedring av eksisterende og utvikling av ny teknologi for miljø- og kostnads-effektiv oppsamling/innsamling av avfall, særlig i store byer og områder med stor befolkningsvekst og fortetting. Det gjelder avfall fra husholdninger, næringsliv og avfall fra det offentlige rom.

De senere årene har det skjedd en rask utvikling av identifikasjons- og sorteringsteknologi som muliggjør effektive prosesser med mindre svinn og bedre kvalitet på utsorterte fraksjoner. Økt ressursutnyttelse av avfall krever økt bruk og utvikling av ny identifikasjons-, forbehandlings-, sorterings- og gjenvinningsteknologi for å sikre høyverdig materialgjenvinning og biologisk behandling. Dette er også viktig for å sikre utsortering av avfall med prioriterte miljøgifter som ikke skal gå ukontrollert inn i nye produkter. På sikt kan det tenkes at det kommer mer renseteknologi som fjerner prioriterte miljøgifter fra avfallet slik at det likevel kan materialgjenvinnes.

I fremtiden vil nye teknologier kunne gi mer biogass/energi per tonn avfall, eller redusere energibehov i biogassanlegg og andre avfallsbehandlingsanlegg. Vi ser også at pyrolyse vil kunne supplere biologisk behandling av enkelte avfallstyper. Pyrolyseteknologien er utviklet, men behandlingstkostnaden er relativt høy. Ved pyrolyse forbrennes biomasse ved høy temperatur under oksygenfattige forhold der kull (biokull), gass (biogass) og olje (biolje) dannes. Biokull kan brukes som jordforbedringsmiddel og binder karbon over lang tid i jord, og olje og gass kan brukes til energiformål. Fremtidens biogass- og pyrolyseanlegg vil ikke bare kunne produsere biometan, men også klimanøytral hydrogen, som kan brukes som energibærer. Denne hydrogenproduksjonen er betydelig billigere enn hydrogenproduksjon basert på elektrolyse.

4.5.3.2 Avfallssektorens bidrag til andre sektorer i lavutslippssamfunnet

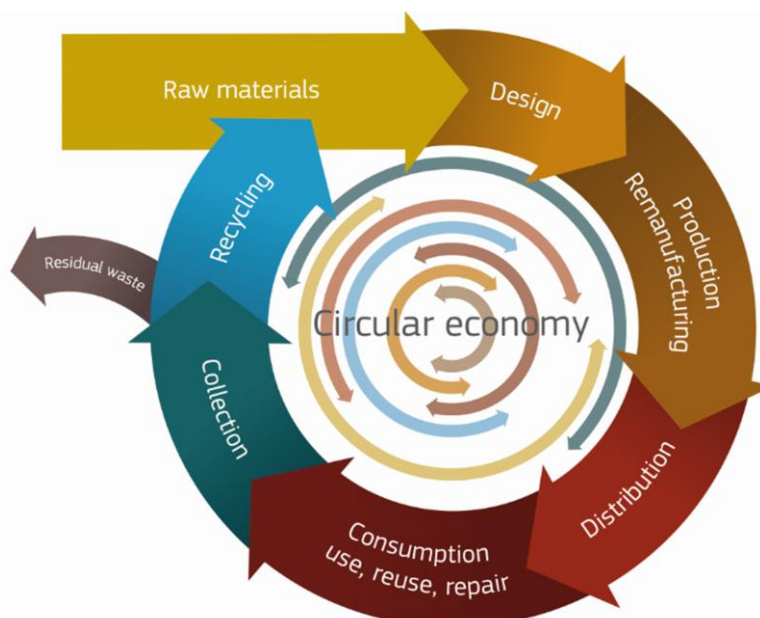
En av forutsetningene for et lavutslippssamfunn og for å møte utfordringer som knapphet på ulike ressurser, befolkningsvekst og økt forbruk, er utstrakt bruk av kretsløpsbaserte og fornybare

ressurser. EU peker på at avfallssektoren er en viktig del av en slik sirkulær økonomi. Begrepet forklares nærmere i faktaboksen under.

Sirkulær økonomi

Målet med en overgang til en sirkulær økonomi er å holde ressursene i produktene i kretsløpet så lenge som mulig, og dermed minimere behovet for nye, jomfruelige ressurser og mengden restavfall. I avfallssammenheng kan dette for eksempel være å beholde metallavfall eller fosfor fra matavfall i kretsløpet lengst mulig. En overgang fra lineær til sirkulær økonomi vil være vesentlig for å minimere utslippene fra avfallssektoren og andre sektorer i framtidens lavutslippssamfunn.

En overgang til sirkulær økonomi krever endringer gjennom hele verdikjeden, blant annet i hvordan produktene designes, nye forretnings- og markedsmodeller, endret forbrukeratferd og endringer i hvordan avfallet behandles. Ifølge EU-Kommisjonen innebærer denne overgangen systemendringer og innovasjon innen teknologi, organisasjon, samfunn, finansiering og politikkutforming. Figuren under viser en modell av den sirkulære økonomien og hovedfasene i sirkulær økonomi.



Figur 4-45 Illustrasjon av sirkulær økonomi. Kilde: EU-Kommisjonen.

Ombruk og forberedelse til ombruk

Ombruk innebærer at brukte produkter gis videre for å brukes om igjen i sin opprinnelige form. Avfall kan også forberedes til ombruk, noe som kan innebære kontroll, vask eller reparasjon av et kassert produkt, slik at det kan brukes igjen til det opprinnelige formålet. I materialgjenvinningsmålet for husholdninger og lignende avfall i rammedirektivet for avfall inngår både forberedelse til ombruk og materialgjenvinning.

For brukte tekstiler fra husholdninger og andre avfallstyper oppstår det større positive miljøeffekter over livsløpet ved å forlenge brukstiden til produkter (gjennom økt brukstid hos første bruker, ombruk eller forberedelse til ombruk) enn ved å utnytte ressursene gjennom materialgjenvinning. De reduserte klimagassutslippene vil i mange tilfeller komme i andre land som følge av unngått framstilling av råvarer og produksjon. Slike tiltak vil imidlertid også bidra til avfallsreduksjon, og dermed reduserte klimagassutslipp fra avfallsbehandling i Norge. Effekter som følge av tiltak for annet avfall enn brukte tekstiler er ikke kvantifisert.

Materialgjenvinning

Ved materialgjenvinning brukes avfallsbasert råvare i stedet for jomfruelig basert råvare. Materialgjenvinning kan dermed føre til reduserte klimagassutslipp ved framstilling av råvare og produkt. I tillegg vil håndtering av avfall som skal materialgjenvinnes kunne føre til noe økte klimagassutslipp for prosessene i avfallssektoren. I de fleste tilfellene vil imidlertid reduserte klimagassutslipp ved framstilling av råvare og produkt være større enn økte klimagassutslipp i avfallssektoren, og over livsløpet bidrar dermed materialgjenvinning av flere avfallstyper til en netto reduksjon i klimagassutslippene i Norge og andre land. Tiltak og virkemidler som bidrar til økt materialgjenvinning kan blant annet gi reduserte utslipp i olje- og gassektoren, industrien og energisektoren. I kapittel 4.5.4.1 er en rekke ulike tiltak for økt materialgjenvinning av ulike typer plastavfall og tekstiler i 2025 og 2030 omtalt.

Økt materialgjenvinning av plastavfall

I 2050 er det forutsatt at alle tiltakene for plastavfall videreføres og at flere virkemidler innføres for å oppnå høyere materialgjenvinning enn i 2030. Generert mengde plastavfall i 2010 er framskrevet for SSBs befolkningsframskrivninger. Det er forutsatt at 80 prosent av generert mengde materialgjenvinnes for plastemballasje, andre plastgjenstander fra husholdninger, plast fra landbruk og plast fra fiskeri og oppdrett. For plast fra elektrisk og elektronisk avfall er det forutsatt 70 prosent materialgjenvinning. For tiltak rettet mot plast fra kasserte kjøretøy, fritidsbåter, bygg/anlegg og møbler er det forutsatt 50 prosent materialgjenvinning.

Styrking av tiltak innen plastavfall vil dermed kunne redusere klimagassutslippene over livsløpet (globalt) med ca. 560 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2050 utover dagens nivå. Dersom det kun regnes på utslippsendringer i Norge ved redusert forbrenning av plastavfall, reduserer tiltaket utslippene i Norge med ca. 200 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

Økt materialgjenvinning av edelmetaller og jordartsmetaller

Stadig flere produkter inneholder ulike metaller, edle metaller og jordartsmetaller. For enkelte edle metaller og jordartsmetaller vurderer EU tilgangen som strategisk eller økonomisk kritisk. I tillegg øker behovet for andre metaller som aluminium og magnesium.

Enkelte produkter inneholder høye konsentrasjoner av edle metaller og jordartsmetaller, og konsentrasjonene i for eksempel EE-avfall kan være høyere enn i naturlige forekomster. En annen kilde til metaller kan være avgangsmasser fra gruver, der ny teknologi kan gjøre det lønnsomt å utvinne metaller som tidligere ikke var drivverdige. Industrideponier med avfall fra industriprosesser kan også være en aktuell kilde.

Det har ikke vært mulig å kvantifisere effekten av tiltak på nåværende tidspunkt. Spesielt for edelmetaller, jordartsmetaller og enkelte andre metaller det er begrensede forekomster av, vil markedsprisen trolig stige betydelig i årene framover. Høy markedspris sikrer at en viss andel av metallene materialgjenvinnes, mens reviderte/nye virkemidler kan være nødvendig for å stimulere til et høyt nivå av materialgjenvinning av jordartsmetaller.

Økt materialgjenvinning av tekstiler

For 2050 er det forutsatt at tiltaket mot 2025/2030 videreføres, og at teknologiutvikling og innføring av virkemidler på andre områder muliggjør noe høyere materialgjenvinning (7 500 tonn ekstra). Det er brukt samme forutsetninger for miljøeffekten over livsløpet ved ombruk og materialgjenvinning som for 2030. Det er stor usikkerhet rundt disse beregningene.

Basert på disse forutsetningene vil klimagassutslippene over livsløpet (globalt) reduseres med anslagsvis 230 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2050 utover dagens nivå. Dersom det kun regnes på utslippsendringer i Norge som følge av redusert forbrenning av fossilt baserte tekstilfibre, vil tiltaket redusere utslippene i Norge med rundt 30 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

Økt materialgjenvinning av treavfall

Det er stor usikkerhet rundt hvordan treemballasje og annet treavfall vil behandles i lavutslippssamfunnet, og hvilke miljøeffekter som følger av dette. Endrede klimagassutslipp ved innføring av tiltak på området er ikke kvantifisert. Karbonlagring i biokull ved pyrolyse av treavfall er omtalt lenger ned.

Biologisk behandling

Ved biologisk behandling dannes kompost eller biogjødsel som kan erstatte mineralgjødsel og torv. I biogassreaktoren dannes det i tillegg biogass, som kan oppgraderes til biometan som kan benyttes til energiformål. Dette vil føre til reduserte utslipp i transport- og landbruks-sektoren. Følgende tiltak er aktuelle for biologisk behandling i et lavutslippsperspektiv:

Økt bruk av biogjødsel (biorest) og kompost fra biologisk behandling

Et vesentlig moment ved biologisk behandling av våtorganisk avfall er at essensielle plante-næringsstoffer som nitrogen og fosfor gjøres tilgjengelig for ombruk i kretsløpet. Klima-effekten ved bruk av kompost og biogjødsel utløses ved at dette kan erstatte bruk av mineral-gjødsel. Tidligere beregninger viser at ett tonn kompostert matavfall brukt som gjødsel kan gi en reduksjon på 10 kg CO₂-ekvivalenter til sammenligning med unngåtte utslipp ved produksjon av den mengde mineralgjødsel som det ellers ville være behov for. Bruk av biogjødsel og kompost gir også en klimaeffekt gjennom karbonlagring i jord.

Når kompost og biogjødsel tilføres landbruks- og grøntområder, vil ikke alt organisk materiale brytes ned, men lagres over en lang periode i jorda. Dermed blir noe av karbon i biologisk materiale tatt ut av karbonkretsløpet. Tidligere studier viser at bruk av 75 000 tonn kompost basert på park- og hageavfall, kan gi en karbonlagringseffekt lik 15 000 tonn CO₂ (Grønlund, A., 2007; Grønlund, A., 2014). Økt bruk av kompost og biogjødsel kan også erstatte uttak og bruk av torv som jordforbedringsmiddel. Torv bidrar ikke til karbonutslipp så lenge den forblir i myrene på grunn av redusert nedbrytning under sure, vannmettede og oksygenfattige forhold. Når torv brukes i jordprodukter, vil den brytes ned og frigjøre karbon. Kompost som erstatter torv, vil derfor minske dette utslippet. Beregninger viser at bruk av 75 000 tonn kompost (tørrvekt) fra park- og hageavfall kan erstatte uttak og bruk av torv, som ellers ville bidratt med 110 000 tonn CO₂ (Grønlund, A., 2007; Grønlund, A., 2014).

Vi har ikke en samlet oversikt eller oppdaterte beregninger over karbonlagringseffekt og potensial for klimagassreduksjon ved bruk av kompost og biogjødsel. Myndighetene har derfor behov for oppdatert kunnskap for å kvantifisere effektene ved økt bruk av kompost og biogjødsel. For at dette tiltaket skal få en virkning i 2050, må tiltaket innføres i 2025-2030.

Økt bruk av biogass til energiformål

I biogassreaktorer dannes det biogass som kan foredles/oppgraderes til ren metangass (biometan) som kan erstatte bruk av fossile energibærere. Både avløpsslam og ulike typer organisk avfall, herunder matavfall, kan benyttes som råstoff (substrat) i biogassreaktorene. Utslippsreduksjonene som bruk av biogass/avfall bidrar til, tilskrives de sektorene som benytter avfallsressursen. Dersom biogass oppgraderes til drivstoffkvalitet og benyttes i transportsektoren, tilskrives utslippsreduksjonen denne sektoren. For omtale av potensialet for klimagassreduksjon vises det til beregning gjort i kapittel 4.5.4.

Karbonlagring ved bruk av biokull fra pyrolyse

Et annet tiltak som kan bidra til klimagassreduksjon i avfallssektoren, er å omdanne ulike typer biologisk og våtorganisk avfall til biokull. Ved å forbrenne biomasse ved høy temperatur og oksygenfattige forhold, dannes det biokull. Prosessen kalles pyrolyse og i tillegg til biokull dannes det biogass og bio-olje, som kan bli brukt til energiformål. I moderne pyrolyseanlegg kan pyrolyse av ett tonn organisk materiale omdanne ca. 50 prosent av biomassens karbon til biokull, 30 prosent til bioolje og 20 prosent til såkalte syngasser (Sørensen & Ellingsen, 2011). Biokull brytes i liten grad ned, og reduserer dermed mengden karbon som slippes ut fra det terrestriske miljø.

Biokullproduksjon kan baseres på for eksempel avløpsslam, rivningstrevirke, eller avfall fra skog- og landbruk (Sørensen & Ellingsen, 2011; Bioforsk, 2013b; Bioforsk, 2013d).

Biokull bidrar både til økt karbonlagring i jord og økt vannhusholdningskapasitet i jord, mikrobiell aktivitet og plantevekst. Videre blir de fleste organiske miljøgifter, ugressmidler og pesticider som kan forekomme i organiske avfallsfraksjoner destruert, og tungmetaller immobilisert ved fremstilling av biokull. Både åker og eng er aktuelle spredningsarealer for biokull som jordforbedringsmiddel, og det er i utgangspunktet råstofftilgangen som begrenser dimensjoneringen av tiltaket (Bioforsk, 2013d; Bioforsk, 2013c).

Biokullets potensial som klimatiltak er avhengig av tilgjengelig biomasse som ikke er brukt til andre formål, som må erstattes av andre kilder. Dersom store mengder skog/biomasse skal gå til pyrolysering, kan det bety at andre miljømål må vike (skogvern, biomangfold osv.). Derfor er pyrolysering av avfall spesielt gunstig, fordi en da ikke benytter jomfruelig råstoff. Det kan benytte jomfruelig råstoff (skog el.l.) men da må ressurstilstanden (mengde tilgjengelig ressurser) analyseres. Ekspertene innen jordmiljø mener at tilførsel av biokull til landbruksarealer/jord vil kunne bidra til lagring av store mengder karbon i jord (Bioforsk, 2013a; Rasse & Grønlund, 2010; Sørensen & Ellingsen, 2011). Vi har ikke kvantifisert effekten av dette tiltaket. Vi har heller ikke vurdert gjennomførbarheten av tiltaket med tanke på økonomi, teknologi eller andre momenter som kan påvirke dette. I jordbrukskapittelet omtales også bruk av biokull som tiltak.

Ressursutnyttelse må ikke gi negative miljøeffekter

Avfallspolitikken har blant annet nasjonale mål om reduserte avfallsmengder og økt andel avfall som gjenvinnes (materialgjenvinnes eller energiutnyttes). Tiltak og virkemidler som innføres for å nå disse målene, vil samtidig kunne få positiv eller negativ betydning for miljømål på andre områder eller for den samlede ressursbruken i samfunnet. I arbeidet for å nå nasjonale mål er det derfor viktig å påse at tiltak og virkemidler ikke får utilsiktede negative effekter på andre målområder. I særlige tilfeller kan den negative effekten være så stor at den, ut fra en helhetsvurdering, mer enn oppveier den positive effekten vi oppnår ved å innføre tiltak.

En særlig viktig målkonflikt er avveininger mellom spredning av prioriterte miljøgifter gjennom materialgjenvinning og biologisk behandling av avfall og avløpsslam, sett opp mot reduserte klimagassutslipp og andre positive miljøeffekter som følge av utnyttelse av ressursene. Tilsvarende kan avfall inneholde nanomaterialer, som kan spres til nye produkter gjennom materialgjenvinning. Dette er en relevant og viktig problemstilling for flere av de foreslåtte tiltakene i avfallssektoren.

Avfallsforbrenning i lavutslippssamfunnet

Ved forbrenning av avfall i forbrenningsanlegg produseres det energi som brukes hovedsakelig til produksjon av prosessdamp, vannbåren varme og elektrisitet i Norge. Energien fra forbrenning av avfallet erstatter dermed bruk av andre, blant annet fossile, energibærere. Endringer i klimagassutslippene avhenger sterkt av mengden avfall til forbrenning, sammensetningen av avfallet, hvilke energibærere som erstattes og energiutnyttelsesgraden ved anlegget. Utslipp fra

avfallsforbrenningsanlegg med energiutnyttelse ligger i energisektoren, og er nærmere omtalt i kapitlet om energiforsyning.

4.5.4 Tiltaksanalyse mot 2030

Revidert EU-regelverk på avfallsområdet gir føringer for 2025 og 2030

EU-kommisjonen har lagt fram forslag til revidert regelverk på avfallsområdet, som blant annet innebærer vesentlig høyere materialgjenvinningsmål for 2025 og 2030 i rammedirektivet om avfall og emballasjedirektivet. Flere av de foreslåtte målene er svært ambisiøse og det skal være en videre prosess i EU før regelverket vedtas. Vi vurderer nivået på målene som maksimumsnivået for hvor langt vi har kommet i 2030, og dette har ligget til grunn for beregningene for 2025 og 2030.

Forslag til materialgjenvinningsmål i 2030 i rammedirektivet for avfall:

- 70 prosent av husholdningsavfallet og lignende avfall skal gå til forberedelse til ombruk og materialgjenvinning. I 2020 er målet for dette avfallet 50 prosent.
- Fortsatt mål om 70 prosent forberedelse til ombruk og materialgjenvinning av bygg- og anleggsavfall. Dette målet er på samme nivå som i 2020.

EU-kommisjonen har foreslått at medlemslandene skal innføre tiltak for å redusere mengden matavfall gjennom verdikjeden for mat, og et mål om at mengden matavfall reduseres med minst 30 prosent i perioden fra 1. januar 2017 til 31. desember 2025.

For å redusere kontamineringen av annet avfall foreslår Kommisjonen at landene skal innføre separat innsamling av organisk avfall innen 2025. Det forventes også at Kommisjonen på et senere tidspunkt vil foreslå et regelverk som sikrer økt materialgjenvinning av fosfor.

Også i EUs direktiv om emballasje og emballasjeavfall er det foreslått en rekke nye mål for forberedelse til ombruk og materialgjenvinning i 2020, 2025 og 2030, se Tabell 4-18.

Tabell 4-18 Mål for emballasjeavfall i 2025 og 2030

År	Totalt for alt emballasjeavfall	Plastemballasje	Treemballasje	Jernholdig metallemballasje og glassemballasje	Ikke-jernholdig metallemballasje, papir/kartong og bølgepapp
2020	60 %	45 %	50 %	70 %	85 %
2025	70 %	60 %	65 %	80 %	90 %
2030	80 %	60 %	80 %	90 %	90 %

Kommisjonen foreslår innskjerpede rapporteringskrav i rammedirektivet og emballasje-direktivet, slik at bare avfall som faktisk er forberedt til ombruk eller materialgjenvunnet kan inngå i rapporteringen. Dette innebærer en innskjerping fra dagens rapportering, der målepunktet er avfallsmengde sendt til et sorteringsanlegg eller sendt fra et sorteringsanlegg. Målene innebærer dermed behov for en større økning i materialgjenvinningen enn det differansen mellom dagens materialgjenvinningsnivå og de foreslåtte målene tilsier.

Kommisjonen foreslår også et juridisk bindende forbud mot deponering av avfall egnet til materialgjenvinning og biologisk behandling fra 1. januar 2025. Forbudet omfatter både næringsavfall og husholdningsavfall. Plastavfall, metall og glass er avfallstyper som nevnes. Av disse

er det kun forbud mot deponering av plast som påvirker klimagassutslippene fra avfallsdeponier. Forbudet påvirker imidlertid avfallsmengder til annen behandling.

4.5.4.1 Analyse av tiltak, utslippsreduksjoner, tiltakskostnader

Dette kapitlet inneholder tiltak som er nødvendig for å nå Kommisjonens foreslåtte mål for 2025 og 2030, og enkelte tiltak som må innføres allerede i denne perioden for å få effekt på lengre sikt. Først omtales tiltak der effekten ikke er kvantifisert, og deretter omtales ulike tiltak som kan bidra til utslippsreduksjoner i andre sektorer. For bredere omtale av effekter av tiltakene under, vises det til kapittel 4.5.3.2.

Tiltak der effekten ikke er kvantifisert

Avfallsforebygging

Bortsett fra tiltaket i landbrukssektoren "mindre matsvinn" har vi ikke kvantifisert reduserte klimagassutslipp i avfallssektoren eller andre sektorer/land ved avfallsforebyggende tiltak.

Gjennomførbarheten av tiltaket vurderes å være lav-middels. Den vurderes lav fordi det er vanskelig å påvirke forbruk og det er få virkemidler på området. Arbeidet mot reduksjon av matsvinn har kommet et stykke på vei i Norge, og her vurderes gjennomførbarheten å være middels. Tiltak som retter seg mot næringsmiddelprodusenter, dagligvarehandel og forbrukere kan gi resultater i og med at aktørene i alle ledd i større grad er lokalisert i Norge enn for andre bransjer. EU-kommisjonens forslag innen forebygging av matavfall vil kunne påvirke gjennomføringen av tiltaket i retning av middels til høy gjennomførbarhet.

Økt uttak av deponigass fra avfallsdeponier som følge av bedret teknologi

Dersom tiltaket skal gjennomføres og ha effekt i 2050, må det gjennomføres i 2025. Gjennomførbarhet vurderes som middels siden det finnes tilgjengelig teknologi på markedet. Imidlertid er installasjons- og driftskostnader høye i forhold til inntjeningspotensialet ved salg av energi.

Økt bruk av kompost og biogjødsel

Gjennomførbarhet vurderes å være høy siden kompost, og etter hvert også biogjødsel, er et kjent gjødselprodukt i markedet og behandlingsteknologien er kjent og velprøvd. Utfordringer for gjennomførbarhet vurderes å være knyttet til kostnader ved transport og lagring av flytende biogjødsel, som er tyngre enn mineralgjødsel, mindre fleksibel med hensyn til lagring og vanskeligere å applisere på landbruksområder. For kompost er markedet mer veletablert, og produkter selges ofte i sekk. Et eventuelt EU-regelverk som skal sikre økt materialgjenvinning av fosfor påvirker gjennomførbarheten av tiltaket. Høye materialgjenvinningsmål påvirker tiltaket i retning av høy gjennomførbarhet.

Pyrolyse, biokull, karbonlagring

Tiltakets gjennomførbarhet vurderes å være høy siden teknologien er utviklet og utprøvd. I tillegg pågår omfattende forskningsprogrammer på området. Vi har ikke utredet økonomiske effekter av tiltaket. Utfordringen for realisering er høye investeringskostnader i anlegg.

Biologisk behandling av våtorganisk avfall

Beregningene av effektene av tiltaket inkluderer klimagassreduksjonen ved at biogassen erstatter drivstoff, og at biogjødsel erstatter bruk av mineralgjødsel. Det er ikke lagt inn beregninger av effekter dersom EU-kommisjonens forslag til forebygging av matavfall gjennomføres, og heller ikke beregninger med økte avfallsmengder på grunn av befolkningsvekst.

Tidligere utredninger for økt ressursutnyttelse av våtorganisk avfall viser at det oppstår omkring 470 000 tonn matavfall fra norske husholdninger og rundt 265 000 tonn fra storhusholdninger (kantiner,

kafeer, hoteller osv.) og dagligvarebransjen. Samme utredning viser at totalt 280 000 tonn matavfall (både husholdningsavfall og avfall fra næringer) ble biologisk behandlet i 2010, det vil si 38 prosent av matavfallet. I tillegg ble 160 000 tonn park- og hageavfall biologisk behandlet (Mepex, 2012b). Dersom biogassen som kan dannes av dette avfallet benyttes til drivstoff i bybusser og biogjødselen benyttes til erstatning for mineralgjødsel kan dette gi reduserte klimagassutslipp i transportsektoren og noe i industri:

1. Økt utsortering av matavfall fra husholdninger og lignende avfall fra næringer og utnyttelse av annet tilgjengelig våtorganisk avfall (*kalles "økt utsortering og biologisk behandling" i tiltakstabellen)

For å nå kravet om 50 prosent materialgjenvinning, må utsortering av matavfall fra husholdninger økes med 65 000 tonn i 2020 fra dagens mengde på 170 000 tonn til biologisk behandling, slik at det totalt utsorteres 235 000 tonn matavfall til biologisk behandling. For matavfallet fra næringer vil dette kunne bety en økning fra dagens nivå på 110 000 tonn til biologisk behandling, med utsortering av ytterligere 22 000 tonn i 2020 til 132 000 tonn. Med utgangspunkt i disse utsorterte mengdene og utnyttelse av annet tilgjengelig våtorganisk avfall (rundt 420 000 tonn) til biogassproduksjon, er det beregnet at dette kan gi et redusert klimagassutslipp på 193 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2020 dersom biogassen benyttes i bybusser (Klif, 2013a). Dersom biogassen benyttes som erstatning for diesel i kjøretøy tilskrives utslippsreduksjonen transportsektoren, og en liten andel i industri som følge av redusert produksjon av mineralgjødsel.

For å nå målet i 2030 om 70 prosent materialgjenvinning vil det kreves utsortering av 94 000 tonn ekstra matavfall fra husholdningene, slik at det totalt utsorteres 329 000 tonn matavfall. For lignende avfall fra næringer vil dette bety en ytterligere økning i overkant av 53 000 tonn, slik at det totalt utsorteres 185 000 tonn. Dersom en regner en økning i utsortering av matavfall fra 50 til 70 prosent, viser beregninger at dette kan gi en utslippsreduksjon på 270 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030.

Kostnaden for tiltaket er beregnet til 1100 kr/tonn CO₂-ekvivalenter i 2020 (Klif, 2013a). Kostnader er ikke beregnet for 2030. Gjennomførbarheten er vurdert å være middels siden tiltaket krever regelverksendringer som normalt tar lang tid å implementere før det får full effekt, men nye krav og føringer om økt utsortering som EU-kommisjonen foreslår påvirker gjennomførbarheten mot høy. Gjennomførbarhet når det gjelder teknologi vurderes som høy, siden dette er kjent teknologi.

Materialgjenvinning av plastavfall

Plast kan lages av både fossile råvarer og fornybare råvarer, men i dag produseres plast hovedsakelig av fossile råvarer i form av olje eller naturgass. Det er anslått at om lag fire til seks prosent av verdens olje- og gassproduksjon brukes til å produsere ulike plastprodukter. Ved materialgjenvinning av plastavfall reduseres utslipp av klimagasser og energibruk fra produksjon av plast, og i tillegg reduseres klimagassutslippene fra avfallsforbrenningsanlegg.

For 2025 og 2030 er det forutsatt at foreslått mål om 60 prosent materialgjenvinning av plastemballasje nås. I tillegg bør materialgjenvinningen av annet plastavfall enn emballasje økes, siden dette bidrar til å nå rammedirektivets materialgjenvinningsmål for husholdnings-avfall og lignende avfall i 2030. For tiltak 3 til 7 er nivået i 2025 satt som middelverdien av nivåene i 2020 og 2030. Utslippsendring i Norge følger av redusert forbrenning av plastavfall. Utslippsreduksjonen av de ulike tiltakene er oppsummert i Tabell 4-19.

2. **Økt materialgjenvinning av plastemballasje fra husholdninger og næringsliv:** Det er beregnet at tiltak som sikrer økt kildesortering og økt bruk av sentral sorterings-teknologi vil kunne gi materialgjenvinning av 60 prosent av plastemballasjeavfallet i 2025 og 2030. Dette gir 48 000 tonn ekstra til materialgjenvinning i 2025 og 53 000 tonn ekstra i 2030 sammenlignet med materialgjenvunnet mengde i dag. Gjennomførbarheten av tiltaket vurderes som høy, siden det er nødvendig for å nå EU-mål.
3. **Økt materialgjenvinning av annet plastavfall som kan gå inn i samme verdikjede som plastemballasje:** Andre husholdningsartikler i plast fra husholdninger og annet plastavfall enn emballasje fra landbruket er til stor grad produsert av samme plasttyper som plastemballasje, og er til en stor grad egnet til å gå inn i samme verdikjede som plastemballasje. Beregningene er basert på at innføring av tiltak gjør at 50 prosent av generert mengde husholdningsartikler i plast og 80 prosent av annet plastavfall fra landbruket materialgjenvinnes i 2030. Dette gir totalt 14 000 tonn ekstra til materialgjenvinning i 2025 og 21 000 tonn ekstra i 2030 sammenlignet med dagens nivå. Gjennomførbarheten av tiltaket vurderes som høy.
4. **Økt innsamling og materialgjenvinning av plastavfall fra fiskeri/oppdrett:** Beregningene av tiltaket er basert på at 80 prosent av dette avfallet materialgjenvinnes i 2030, totalt 8 000 tonn ekstra til materialgjenvinning i 2025 og 11 000 tonn ekstra i 2030 sammenlignet med dagens nivå. Gjennomførbarheten vurderes som høy.
5. **Økt materialgjenvinning av plast fra elektrisk- og elektronisk avfall og kasserte kjøretøy:** Tiltaket innebærer økt materialgjenvinning av plastavfall fra disse produktene gjennom økt utsortering før fragmentering og økt bruk av sorteringsteknologi på avfall etter fragmentering. Plast fra disse produktene kan inneholde flere ulike prioriterte miljøgifter, og det er viktig med økt bruk av identifikasjons- og sorteringsteknologi for å sikre at miljøgiftene ikke ukontrollert spres i nye produkter. Beregningene er basert på at 40 prosent av plastavfallet fra disse kildene materialgjenvinnes i 2030. Dette gir totalt 20 000 tonn ekstra til material-gjenvinning i 2025 og 25 000 tonn ekstra i 2030 sammenlignet med dagens nivå. Gjennomførbarheten av tiltaket vurderes som middels.
6. **Økt materialgjenvinning av plast fra bygg- og anleggssektoren:** Økt material-gjenvinning kan oppnås gjennom kombinasjon av økt kildesortering på byggeplass og økt bruk av sentralsortering. Plast fra denne sektoren kan inneholde flere ulike prioriterte miljøgifter, og det er viktig med økt bruk av identifikasjons- og sorteringsteknologi for å sikre at miljøgiftene ikke ukontrollert spres i nye produkter. Beregningene er basert på at 30 prosent av plastavfallet fra denne sektoren material-gjenvinnes i 2030. Dette gir totalt 9 000 tonn ekstra til materialgjenvinning i 2025 og 10 000 tonn ekstra i 2030 sammenlignet med dagens nivå.
7. **Økt materialgjenvinning av plast fra møbler:** Beregningene av tiltaket er basert på at 30 prosent av plastavfallet fra disse produktene materialgjenvinnes i 2030, totalt 6 000 tonn ekstra til materialgjenvinning i 2025 og 9 000 tonn ekstra i 2030 sammenlignet med dagens nivå. Gjennomførbarheten av tiltaket vurderes som middels.

Tabell 4-19 Utslippsreduksjoner ved ulike tiltak for økt materialgjenvinning av plastavfall.

Tiltak	Global reduksjon i 2025 [tonn CO ₂ -ekvivalenter]	Global reduksjon i 2030 [tonn CO ₂ -ekvivalenter]	Utslippsreduksjon i Norge i 2025 [tonn CO ₂ -ekvivalenter]	Utslippsreduksjon i Norge i 2050 [tonn CO ₂ -ekvivalenter]
2	120 000	130 000	50 000	50 000
3	30 000	50 000	10 000	20 000
4	20 000	30 000	10 000	10 000
5	50 000	60 000	10 000	10 000
6	20 000	20 000	10 000	10 000
7	10 000	20 000	10 000	10 000

Totalt vil innføring av alle tiltakene som er rettet mot plastavfall redusere klimagass-utslippene over livsløpet (globalt) med rundt 250 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2025 og 310 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Dersom det kun regnes på utslippsendringer i Norge som følge av redusert forbrenning av plastavfall og dermed reduserte utslipp fra fjernvarmesektoren, vil disse tiltakene redusere utslippene i Norge med om lag 90 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2025 og 110 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030.

I beregningene er generert mengde framskrevet for SSBs befolkningsframskrivninger, og dagens nivå er satt lik situasjonen i 2010. Beregningene er basert på utslippstall for fossilt basert plast, og tar ikke høyde for at en del av plasten muligens vil produseres fra fornybare råvarer i framtiden (biobasert plast). Det er forutsatt at materialgjenvinning av 1 tonn plastavfall i gjennomsnitt reduserer klimagassutslippene over livsløpet med 2,4 tonn CO₂-ekvivalenter per tonn plastavfall som materialgjenvinnes framfor å energiutnyttes (Mepex, 2012a).

Virkemidlene for å utløse tiltakene må tilpasses den enkelte sektor. Det vil også være nødvendig med virkemidler som sikrer økt bruk av sentral sortering eller annen teknologi som sorterer ut mer avfall med høyere kvalitet til materialgjenvinning. Bruk av slik teknologi kan være både et supplement til, og eventuelt delvis erstatning for, kildesortering. Det er kritisk at virkemidlene sikrer økt bruk og utvikling av teknologi slik at økt materialgjenvinning av annet plastavfall enn plastemballasje ikke gir ukontrollert spredning av prioriterte miljøgifter.

Økt utsortering av brukte tekstiler til materialgjenvinning

Økt ombruk og materialgjenvinning av brukte tekstiler kan bidra til redusert etterspørsel etter nye tekstiler. Dette gir lavere miljøskadelige utslipp ved uttak og framstilling av råvare og ved produksjon av tekstiler, og i tillegg redusert vann- og energibruk i produksjonslandet.

Ombruk og materialgjenvinning av brukte tekstiler gir større miljøbesparelse over livsløpet enn energiutnyttelse. De reduserte utslippene skjer i det vesentligste i andre land enn Norge. Grovt anslått reduseres klimagassutslipp over livsløpet for tekstiler med gjennomsnittlig 6,5 tonn CO₂-ekvivalenter per tonn tekstiler til ombruk. Miljøbesparelsen ved materialgjenvinning varierer, og avhenger blant annet av fibertype, materialgjenvinningsmetode og hvilke materialer som erstattes av materialgjenvunnet råvare. Materialgjenvinningsteknologien for tekstilavfall er i tidligfase, og det er viktig med videre teknologiutvikling for å sikre størst mulig positive miljøeffekter ved materialgjenvinning av tekstilavfall. Beregningene er basert på et grovt anslag om at materialgjenvinning av tekstil reduserer klimagassutslippene over livsløpet med 2 tonn CO₂-ekvivalenter per tonn avfall. (SIFO, 2012).

Tekstiler er produsert av ulike fibertyper, og de ulike fibertypene er basert på både fornybare og fossile råvarer. Forbrenning av tekstilfibre med fossil opprinnelse gir utslipp av fossil CO₂, men dette er ikke tilfelle ved forbrenning av tekstilfibre produsert fra fornybare råvarer. I beregningene av endrede klimagassutslipp i Norge, er det forutsatt at 50 prosent av tekstilavfallet er basert på fossile råvarer og gir fossile CO₂-utslipp i avfallsforbrenningsanleggene. For å anslå reduksjonen i klimagassutslipp i Norge, er det brukt samme tall for reduserte klimagassutslipp fra avfallsforbrenningsanlegg som for plastavfall (0,96 tonn CO₂-ekvivalenter per tonn avfall) (Mepex, 2012a). I Norge vil en økning i innenlands transport av tekstiler og tekstilavfall gi en liten økning i utslippene av klimagasser, men denne økningen er så liten at det er sett bort fra dette i beregningene (utgjør anslagsvis rundt 1 prosent av den globale reduksjonen i klimagassutslipp ved å sortere ut tekstiler til ombruk) (SIFO, 2012).

8. **Økt utsortering av brukte tekstiler fra restavfallet for materialgjenvinning:** Tiltaket innebærer økt utsortering av brukte tekstiler fra husholdninger, utsalgssteder og fra enkelte virksomheter slik at disse inngår i strømmer til ombruk og materialgjenvinning. For 2030 er det anslått at den økte innsamlede mengden fra 2020 går til materialgjenvinning, noe som forutsetter at det utvikles bedre sorterings- og materialgjenvinningsprosesser. Beregningene av tiltaket er basert på at det i 2030 sorteres ut like mye avfall til ombruk, mens mengden til materialgjenvinning er doblet sammenlignet med nivået i 2020. Nivået i 2025 er satt som middelverdien av 2020 og 2030. Utover dagens nivå gir beregningene totalt 39 000 tonn ekstra til ombruk og materialgjenvinning i 2025, og 46 000 tonn ekstra i 2030. Tiltaket vil redusere klimagassutslippene over livsløpet (globalt) med anslagsvis 160 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2025 og 200 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Dersom det kun regnes på utslippsendringer i Norge som følge av redusert forbrenning av tekstilavfall (fossil andel), vil tiltaket redusere utslippene i Norge med grovt regnet 20 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2025 og 2030. Gjennomførbarheten av tiltaket vurderes som høy.

Økt materialgjenvinning av metaller

Bruk av metallavfall til produksjon av nye metallprodukter gir blant annet reduserte klimagassutslipp og redusert energibruk sammenlignet med bruk av metallråstoff som framstilles fra malm. Dette er blant annet tilfelle ved materialgjenvinning av aluminium. Det er beregnet at materialgjenvinning av ett tonn aluminium reduserer utslippene av klimagasser med 10 tonn CO₂-ekvivalenter (Bergfald & Co as, 2007). Hvor stor andel av utslipps-reduksjonen som kommer i Norge varierer mellom ulike typer metaller.

For å nå materialgjenvinningsmålene i emballasjedirektivet i 2025 og 2030 kan det muligens bli nødvendig å revidere mål og andre elementer i emballasjeavtalen for metallemballasje. Økt materialgjenvinning av metaller kan også være et bidrag til å nå det foreslåtte materialgjenvinningsmålet for husholdningsavfall og lignende avfall i 2030. Tiltak som øker materialgjenvinning av annet metallavfall enn emballasje kan for eksempel utløses av virkemidler som stimulerer til økt bruk av sentral sortering eller annen teknologi som sorterer ut mer metallavfall med høyere kvalitet. Effektene av tiltak er ikke kvantifisert.

Økt materialgjenvinning av treemballasje og annet treavfall

EU-kommisjonen foreslår høye materialgjenvinningsmål fram mot 2030 for treemballasje (for eksempel paller og kabeltromler). I tillegg kan utnyttelse av annet treavfall bli nødvendig for å nå det foreslåtte materialgjenvinningsmålet for husholdningsavfall og lignende avfall i 2030.

I dag er det imidlertid svært få løsninger i Norden som godkjennes som materialgjenvinning av dette avfallet, og utvikling av ny materialgjenvinningsteknologi og nye materialtyper vil sannsynligvis være nødvendig for å kunne nå kravene i EU-kommisjonens forslag til endringer i rammedirektivet om avfall og emballasjedirektivet. Det er stor usikkerhet om hvordan treemballasje og annet treavfall vil behandles, hvilke teknologier som vil finnes og hvilke miljøeffekter som følger av tiltak. Det er ikke mulig å kvantifisere effekten av tiltaket.

Økt materialgjenvinning av papir, papp og kartong

Avfallsfraksjonen papir, papp og kartong utgjør anslagsvis rundt 10 prosent av generert mengde avfall, og det er potensial for økt materialgjenvinning. Tiltak kan bidra til å nå EU-Kommisjonens foreslåtte mål for husholdningsavfall og lignende avfall. Det er imidlertid stor usikkerhet om hvordan utviklingen i generert mengde papir, papp og kartong vil være i årene framover blant annet som følge av økt bruk av digitale medier, og det er dermed usikkert hvor stort utslippsreduksjonspotensialet faktisk vil være i 2030. Effekt av tiltaket er ikke kvantifisert.

4.5.4.2 Mulige virkemidler for å utløse tiltakene. Styrking av eksisterende virkemidler

Det er en rekke mulige virkemidler som kan løse ut tiltakene rettet mot 2025/2030 og videre mot 2050. Virkemidlene er ikke utredet eller konsekvensvurdert.

Produsentansvar

Utvidet produsentansvar gir produsentene ansvar for produktene også når de har blitt avfall. Videreutvikling av eksisterende og utvikling av nye produsentansvarsordninger kan være viktig for å nå høye målsetninger om materialgjenvinning. Myndighetene kan vurdere å utrede forskriftsregulering av enkelte ordninger for å sikre finansiering og gode nok resultater for å nå ambisiøse mål i EU-regelverk. Reguleringer av produsentansvar kan i tillegg til krav om materialgjenvinning også omfatte krav til avfallsforebygging, design av produkter som er egnet for materialgjenvinning og informasjonstiltak/kompetanseheving.

Forbud mot deponering av plastavfall, metaller og glass

Dagens forbud mot deponering av biologisk nedbrytbart avfall dekker ikke deponering av plastavfall, metaller eller glass, og Kommisjonens forslag til forbud mot deponering av avfall i 2025 kan gi behov for en utvidelse av dagens forbud gjennom en endring av avfallsforskriften § 9-4. Det kan om nødvendig gis dispensasjon til deponering av gitte typer av dette avfallet. Et slikt forbud vil styre dette avfallet bort fra deponi, og over til materialgjenvinning og energiutnyttelse (plastavfall).

Krav om sortering rettet mot næringsavfall

Kommisjonen foreslår at medlemslandene skal innføre separat innsamling av organisk avfall innen 2025, og høye materialgjenvinningsmål fram mot 2030. Sammen med lav pris på levering av avfall til forbrenning gir dette behov for virkemidler som sikrer at ulike avfalls-typer i næringsavfall sorteres ut for materialgjenvinning og biologisk behandling. For å sikre at det utsorterte materialet blir materialgjenvunnet/biologisk behandlet, kan krav om utsortering kombineres med krav om behandlingsmåte, jf. omtale under. Det er hjemmel i forurensningsloven §§ 32 og 33 til å innføre et generelt utsorteringskrav rettet mot avfalls-produsenter i næringslivet. Siden det er snakk om veldig mange ulike avfallsprodusenter er det svært krevende å håndheve en generell plikt til utsortering rettet mot avfallsprodusent. Alternativet er å rette kravet til avfallsbehandlere gjennom vilkår i behandlingsanleggenes tillatelser til forurensende virksomhet, alternativt gjennom en forskriftsregulering.

Krav om sortering av gitte typer avfall fra husholdninger

For å redusere kontamineringen av organisk avfall og annet avfall, foreslår Kommisjonen at medlemslandene skal innføre separat innsamling av organisk avfall innen 2025. For husholdningsavfall kan det innføres et krav til kommunene om utsortering av gitte typer avfall før forbrenning og deponering. Dette vil være et viktig virkemiddel for å nå EU-kommisjonens foreslåtte materialgjenvinningsmål i 2030. Det er hjemmel i forurensningsloven § 33 til å rette et slikt krav om utsortering mot kommunene gjennom forskrift, forutsatt at det er praktisk og økonomisk gjennomførbart. Et slikt virkemiddel kan kombineres med et krav om en bestemt behandling. Det er viktig at kravet ikke legger for sterke føringer på hvilke tiltak som innføres i den enkelte kommune eller hvilken teknologi som benyttes.

Krav om materialgjenvinning/biologisk behandling

Kommisjonen foreslår et juridisk bindende forbud mot deponering av avfall egnet til materialgjenvinning og biologisk behandling fra 1. januar 2025. Forurensningsloven § 33 gir hjemmel til at forurensningsmyndigheten kan treffe vedtak eller fastsette ved forskrift at avfallet skal gjenvinnes eller behandles på annen måte.

Forbud mot forbrenning av våtorganisk avfall/avfall som kan materialgjenvinnes

Et alternativ til krav om biologisk behandling/materialgjenvinning kan være å forby forbrenning av avfall som kan materialgjenvinnes/biologisk behandles. Et slikt krav vil føre til utsortering av visse fraksjoner før restavfallet går til forbrenning, og vil dermed ha lignende virkning som krav om utsortering. Kravet kan innrettes slik at restavfallet bare kan inneholde en viss mengde våtorganisk avfall/materialgjenvinnbart avfall. Antageligvis er det mest effektivt å rette kravet mot avfallsbesitter eller behandlingsanlegg. Forurensningsloven § 33 gir adgang til å hjemle et slikt forbud. Forbudet kan imidlertid føre til mer eksport av avfall, og det kan bli behov for virkemidler som sikrer tilsvarende krav til avfall som eksporteres.

Krav om økt energiutnyttelsesgrad

I dag er det mål om 50 prosent energiutnyttelsesgrad for norske avfallsforbrenningsanlegg. Et aktuelt virkemiddel er å kreve økt energiutnyttelsesgrad i anleggenes utslippstillatelser.

Grensekryssende transport av avfall

EUs forordning 1013/2006 om grensekryssende transport av avfall er gjennomført i norsk rett ved avfallsforskriften kapittel 13 om grensekryssende transport av avfall. Det er få muligheter til å nekte samtykke til avfallsforsendelser til materialgjenvinning og energiutnyttelse. Et land kan imidlertid begrense eksporten av avfall til energiutnyttelse dersom avfallet kan materialgjenvinnes. En prioritering mellom materialgjenvinning og energiutnyttelse kan fastsettes i nasjonal lovgivning eller avfallspolitikk. Med utgangspunkt i en slik overordnet prioritering, og med hjemmel i forordningens artikkel 12 (c), kan et land begrense eksporten av avfall til energiutnyttelse om avfallet i stedet kan materialgjenvinnes. En slik prioritering av materialgjenvinning må være "landsnøytral" og dermed uavhengig av om anleggene finnes i Norge eller i EU. En nasjonal prioritering vil gi Miljødirektoratet muligheten til å styre avfallsstrømmer fra energiutnyttelse til materialgjenvinning i tilfeller der dette er miljømessig og samfunnsøkonomisk riktig.

Økonomiske virkemidler

Avgifter og andre økonomiske virkemidler kan brukes for å gjøre enkelte behandlings-løsninger, som avfallsforbrenning, mer kostbart, men dette må også sees sammen med regulering av grensekryssende transport av avfall siden avfall i stor grad er en handelsvare i et større marked enn bare Norge. Dette kan gjøre at tiltak som stimulerer til økt material-gjenvinning innføres ut fra en ren økonomisk vurdering. Det er imidlertid viktig at virkemidlet sikrer at avfall som på grunn av

innhold av prioriterte miljøgifter eller av andre årsaker ikke er egnet til materialgjenvinning, blir sikret en forsvarlig behandling.

For økt biologisk behandling og produksjon av biogass kan driftsstøtte (kr/kWh) gis til anlegg som generer biogass fra organisk avfall. I transportsektoren kan fritak fra veibruksavgift for biogass og økt CO₂-avgift for drivstoff være aktuelle virkemidler for økt bruk av biogass til drivstoffformål. I rapportens transportkapittel omtales virkemidler for økt bruk av biodrivstoff.

Fosforstrategi

En fosforstrategi vil kunne bidra til å sette mål for hvor mye av samfunnets genererte mengder avfall og fosfor som skal materialgjenvinnes, og kan inneholde en samlet vurdering av virkemidler som må til for å nå målet.

Nasjonal biogasstrategi

Den nasjonale biogasstrategien omtaler virkemidler for økt bruk av biogass.

Nasjonale mål for materialgjenvinning

Nasjonale mål for materialgjenvinning vil på lengre sikt kunne være viktig for å sikre innføring av tiltak på områder der dette gir miljømessig best effekt.

Regelverk for offentlige anskaffelser

Styrket kompetanse i offentlige og private virksomheter som kjøper inn produkter og tjenester (som for eksempel avfallsbehandling) er viktig for i større grad å kunne stille riktige miljøkrav og -kriterier ved anskaffelser. I EU-kommisjonens foreslåtte pakke om sirkulær økonomi fremheves det at anskaffelsesregelverket i større grad bør brukes for å nå mål på andre områder, som miljøområdet eller for å øke innovasjon.

4.5.5 Mulige utslippsnivåer

Ambisjonsnivået for avfallssektoren i 2025 og 2030 er avgrenset til innføring av tiltakene som er nødvendig for å nå målene som EU-kommisjonen har foreslått for disse årene.

For at avfallssektoren skal bidra til lavutslippssamfunnet i 2050, vil innføring av tiltak og virkemidler som gir grunnlag for sirkulær økonomi være nødvendig. I lavutslippssamfunnet må materialgjenvinning og biologisk behandling være på et høyt nivå for avfallstyper der dette gir positive miljøeffekter over livsløpet. Dette gjelder blant annet for plastavfall, edelmetaller, jordartmetaller og andre metaller, tekstiler og våtorganisk avfall.

Tiltakspakker for 2025 og 2030-vurderingen

Referansebanen for sektoren tilsier utslipp i størrelsesorden 610 000 tonn CO₂-ekvivalenter fra deponier og avløpsrensaneanlegg i 2030, der deponier utgjør 440 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

Utslippsreduksjonen i tiltakspakkene angir reduserte klimagassutslipp i Norge. For tiltak som bidrar til økt materialgjenvinning er den globale utslippsreduksjonen vesentlig høyere enn det som framgår av tabellene. For tiltak rettet mot økt materialgjenvinning av plastavfall og utnyttelse av våtorganisk avfall foreligger det beregninger av kostnader ved innføring av tiltak mot 2020, men det er ikke gjort egne beregninger for 2025 og 2030. Vurderingene av kostnadsnivået i disse årene er derfor basert på kostnadsnivået i 2020. Tiltakskostnaden ville vært lavere dersom den hadde vært beregnet for den totale miljøeffekten over livsløpet.

Tiltakspakke 1 inneholder tiltak som Miljødirektoratet vurderer må gjennomføres dersom Norge skal nå nye krav som følger av EU-kommisjonens forslag til endringer i avfallsdirektiver. Vi betrakter

dette som et minimumsnivå for ambisjonene for 2025 og 2030, selv om det trolig ikke er mulig å gjennomføre alle tiltakene til en lav kostnad per tonn redusert klimagass-utslipp i Norge. Det er ikke regnet på ytterligere reduksjoner av klimagassutslipp som vil følge av EU-kommisjonens forslag til endret målepunkt for materialgjenvinning, som innebærer at mer avfall må materialgjenvinnes om målene skal nås. Tiltakspakke 2 inneholder tiltak som er aktuelle å gjennomføre dersom ambisjonsnivået for klimapolitikken øker, og denne pakken inkluderer derfor også tiltak med høyere kostnad per tonn redusert klimagassutslipp i Norge. Tiltakspakke 3 inkluderer alle tiltak som vi per dags dato vurderer at det kan være aktuelt å gjennomføre innen 2025 og 2030 ved et høyt ambisjonsnivå.

Tabell 4-20 Tiltakspakke 1.

Tiltak	Utslipps-reduksjon 2025 [tonn CO ₂ -ekv.]	Utslipps-reduksjon 2030 [tonn CO ₂ -ekv.]	Sektorer i Norge som påvirkes	Kostnads-nivå	Gjennom-førbarhet
Avfallsforebygging, matavfall	Se landbruks-sektoren	Se landbruks-sektoren	Landbruk	Se landbruks-sektoren	Middels-høy
Økt bruk av kompost og biorest	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Industri Landbruk	Lav-middels	Høy
Økt utsortering og biologisk behandling* (*tiltak 1, jf 1.1.4.1)	190 000	270 000	Transport Industri	Middels	Middels-høy
Materialgjenvinning av plastemballasje	50 000	50 000	Fjernvarme	Middels-høy	Høy
Brukte tekstiler til materialgjenvinning	20 000	20 000	Fjernvarme	Ikke utredet	Høy
SUM	260 000	340 000	Påvirker transport, fjernvarme, industri og landbruk		

Tabell 4-21 Tiltakspakke 2.

Tiltak	Utslipps-reduksjon i 2025 [tonn CO ₂ -ekv.]	Utslipps-reduksjon i 2030 [tonn CO ₂ -ekv.]	Sektorer i Norge som påvirkes	Kostnads-nivå	Gjennom-førbarhet
Avfallsforebygging, Matavfall	Se landbruks-sektoren	Se landbruks-sektoren	Landbruk	Se landbruks-sektoren	Middels-høy
Økt bruk av kompost og biorest	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Industri Landbruk	Lav-middels	Høy
Økt utsortering og biologisk behandling*	190 000	270 000	Transport Industri	Middels	Middels-høy
Pyrolyse, biokull, karbonlagring	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert		Ikke utredet	Høy
Økt materialgjenvinning plastavfall (alle tiltak)	90 000	110 000	Fjernvarme	Lav, middels og høy	Høy og middels
Brukte tekstiler til materialgjenvinning	20 000	20 000	Fjernvarme	Ikke utredet	Høy
Økt materialgjenvinning av metaller	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Industri	Ikke utredet	Ikke utredet
Økt materialgjenvinning treemballasje/treavfall	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Industri	Ikke utredet	Ikke utredet

Økt materialgjenvinning av papir/papp/kartong	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Industri	Ikke utredet	Ikke utredet
SUM	300 000	400 000	Påvirker transport, industri, fjernvarme og jordbruk		

Tabell 4-22 Tiltakspakke 3.

Tiltak	Utslippsreduksjon 2025 [tonn CO ₂ -ekv.]	Utslippsreduksjon 2030 [tonn CO ₂ -ekv.]	Sektorer i Norge som påvirkes
Avfallsforebygging, matavfall	Se landbruks-sektoren	Se landbruks-sektoren	Transport Industri
Økt uttak deponigass avfalls-deponier (bedre teknologi)	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Avfallssektoren
Økt bruk av kompost og biorest	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Landbruk Industri
Økt utsortering og biologisk behandling*	190 000	270 000	Transport Industri
Pyrolyse, biokull, karbonlagring	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Landbruk Transport Industri
Økt materialgjenvinning av plastavfall	90 000	110 000	Fjernvarme
Brukte tekstiler til materialgjenvinning	20 000	20 000	Fjernvarme
Økt materialgjenvinning av metaller	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Industri
Økt materialgjenvinning av treemballasje/treavfall	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Industri
Økt materialgjenvinning av papir, papp og kartong	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Industri
Økt materialgjenvinning edelmetaller/jordartsmetaller	Ikke kvantifisert	Ikke kvantifisert	Industri
SUM	300 000	400 000	Avfallssektoren Transport Industri Fjernvarme Landbruk

4.5.6 Oppsummering

Utslipp fra avfallssektoren viser en jevn nedgang fra 1991 til 2012, og i 2012 var utslippet fra sektoren 49 200 tonn metan eller 1,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Utslipp fra avfalls-deponier utgjør nå under to prosent av klimagassutslippene i Norge, og rundt en fjerdedel av metangassutslippene. Framskrivningen mot 2030 viser at utslippet vil være rundt 610 000 tonn CO₂-ekvivalenter, derav 440 000 tonn CO₂-ekvivalenter fra deponier. Utslippet i 2050 er beregnet til 400 000 tonn CO₂-ekvivalenter, derav 240 000 tonn CO₂-ekvivalenter fra deponier. Vi vurderer at det meste av potensialet for reduserte klimagassutslipp fra avfallsdeponier som ble identifisert i Klimakur er utløst.

Avfallssektoren har virkemidler som kan løse ut tiltak som bidrar til reduserte klimagassutslipp i andre sektorer, som for eksempel gjennom avfallsreduksjon og økt utsortering av avfall til

materialgjenvinning og biologisk behandling. Reduserte klimagass-utslipp tilskrives sektorene der tiltakene hovedsakelig bidrar til reduserte utslipp.

Ambisjonsnivået for avfallssektoren i 2025 og 2030 er avgrenset til innføring av tiltak som er nødvendig for å nå målene som EU-kommisjonen har foreslått for disse årene. Miljødirektoratet vurderer foreløpig at disse tiltakene hovedsakelig kan gjennomføres til lav eller middels kostnad, og at de har høy eller middels gjennomførbarhet. Tiltak rettet mot våtorganisk avfall, plastavfall og brukte tekstiler er beregnet til å redusere klimagass-utslippene i Norge med maks 300 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2025 og 400 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Utslippsreduksjonen kommer hovedsakelig i transportsektoren og fjernvarmesektoren, men også i industrien. I tillegg gir enkelte tiltak store utslipps-reduksjoner i andre land ved reduserte utslipp fra uttak og framstilling av jomfruelig råvare.

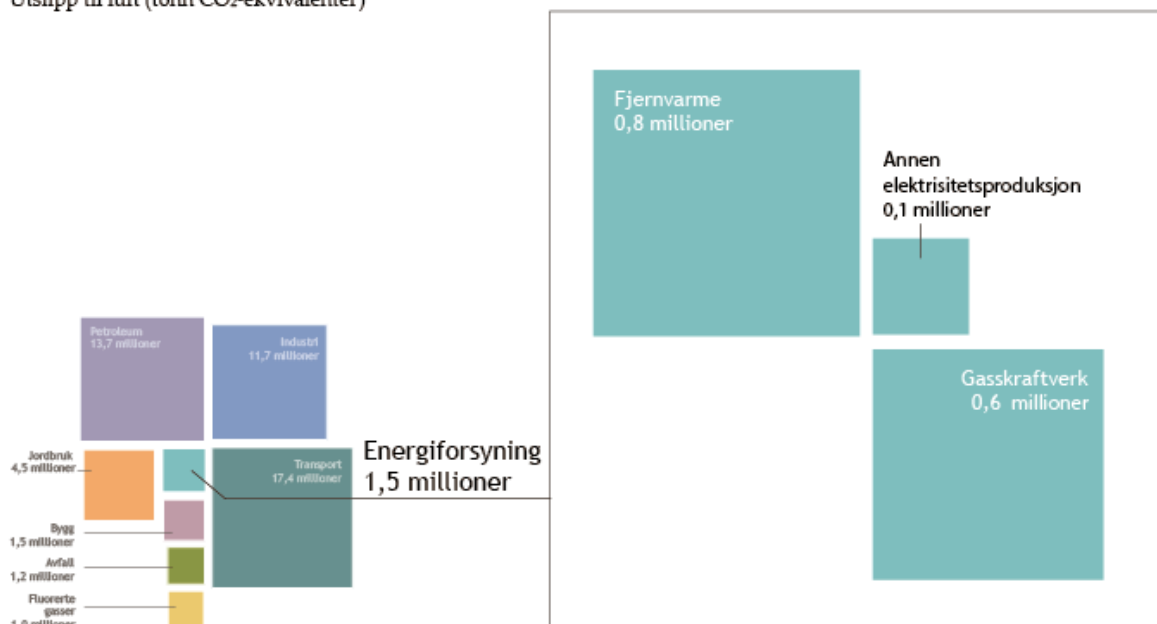
Beregningene viser at tiltak for biogassproduksjon kan gi et energibidrag på rundt 1,5 TWh (Klif, 2013a). For avfallsforbrenning har vi ikke beregnet effekt på energileveransen ved endret sammensetning og mengde avfall som følge av økt utsortering for annen behandling.

For at avfallssektoren skal bidra til lavutslippssamfunnet i 2050, vil innføring av tiltak og virkemidler som gir grunnlag for sirkulær økonomi være nødvendig. I lavutslippssamfunnet må materialgjenvinningen og biologisk behandling være på et høyt nivå for avfallstyper der dette gir positive miljøeffekter over livsløpet. Dette gjelder blant annet for plastavfall, edelmetaller, jordartmetaller og andre metaller, tekstiler og våtorganisk avfall.

4.6 Energiforsyning

Utslipp av klimagasser fra energiforsyning i 2012

Utslipp til luft (tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 4-46 Utslipp fra energiforsyning i 2012.

4.6.1 Innledning

Dette kapitlet omhandler utslipp fra energiforsyning og hvordan utslippene kan reduseres på veien mot lavutslippssamfunnet. Innledningsvis gjør vi rede for hva sektoren omfatter. Deretter beskrives utslippene fra sektoren slik de er i dag, hvordan utslippsutviklingen har vært siden 1990 og hvordan utslippsutviklingen forventes å bli fram mot 2050 basert på framskrivninger for sektoren med dagens tiltak og virkemidler. Videre diskuteres muligheten for tilnærmet å fjerne klimagassutslippene fra sektoren på lang sikt, samt tiltak for å redusere utslippene fram mot 2025 og 2030.

Energiforsyning omfatter klimagassutslipp fra stasjonær forbrenning i turbin eller kjele i forbindelse med energiforsyning. I og med at elektrisitetsproduksjon i Norge i all hovedsak er basert på vannkraft er de viktige utslippskildene innen energiforsyning i Norge energianlegg i fjernvarmesektoren kraftvarmeverket på Mongstad og for 2009-2011 gasskraftverket på Kårstø. I tillegg kommer noe utslipp fra kullbasert elektrisitets- og varmeproduksjon på Svalbard.

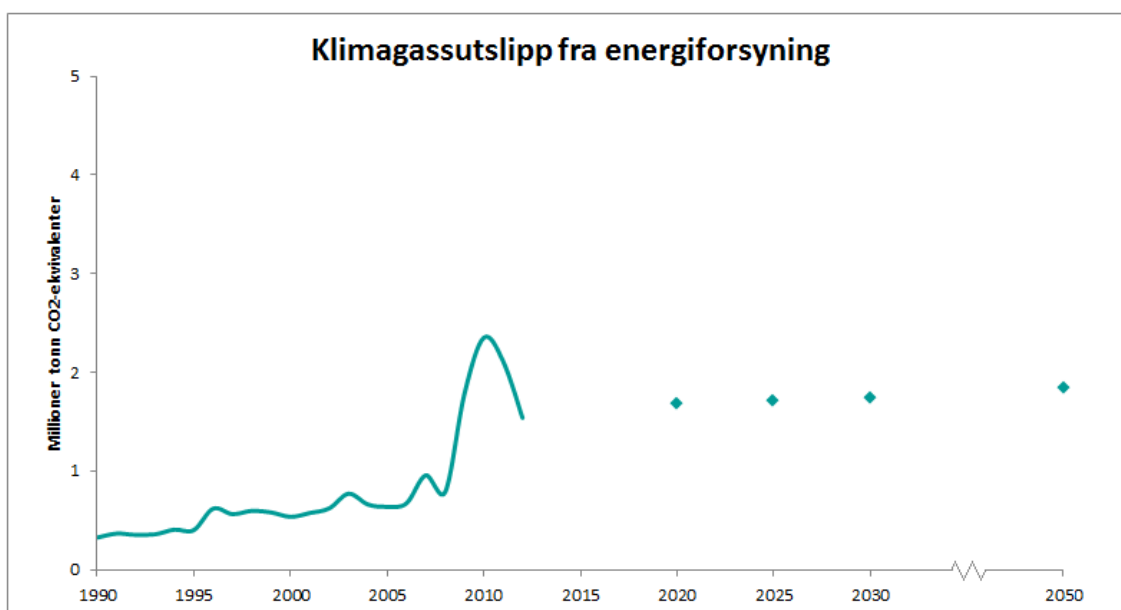
Energiforsyningssystemet danner en viktig bro mellom produksjon av energivarer på den ene siden og forbruk på den andre. I dette kapitlet er det hovedfokus på utslippsreduksjoner, mens de overordnede vurderingene av energisystemet gjøres i kapittel 6. Avfall er den viktigste innsatsfaktoren i fjernvarmesektoren. Tiltak for å redusere utslippene i fjernvarmesektoren må derfor sees i sammenheng med tiltak i avfallssektoren (kapittel 4.5).

4.6.2 Utslipp og framskrivninger

Klimagassutslippene fra energiforsyning var på i overkant av 1,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012, noe som utgjorde 2,9 prosent av Norges klimagassutslipp. Utslippene fra fjernvarme utgjorde halvparten av utslippene fra energiforsyning i 2012, mens kraftvarmeverket på Mongstad, det eneste

gasskraftverket som var i drift dette året, stod for 42 prosent (Figur 4-46, Figur 4-47). Kullbasert elektrisitets- og varmeproduksjon på Svalbard utgjorde 8 prosent.

Fra 1990 til 2008 økte utslippene fra energiforsyning forholdsvis jevnt (Figur 4-47). Dette skyldtes en økning i utslippene fra fjernvarmesektoren. Den kraftige økningen i 2009 skyldtes oppstart av gasskraftverket Naturkraft Kårstø. Dette verket har ikke vært i ordinær drift siden juni 2011. Styret for gasskraftverket besluttet 3. oktober 2014 å endre driftsmodus til preserving. Dette betyr at verket kan startes opp om det skulle bli lønnsomt. Per i dag er det ifølge styret ingen planer om å demontere anlegget. Med dagens kunnskap om framtidig elektrisitetsforsyning er det Miljødirektoratets vurdering at det er lite sannsynlig at verket vil starte opp de nærmeste årene. Kraftvarmeverket på Mongstad ble satt i drift i 2010 og har siden oppstarten hatt en av to turbiner i drift.



Figur 4-47 Utslippsutvikling (1990–2012) og framskrivinger (2020–2050) for energiforsyning.

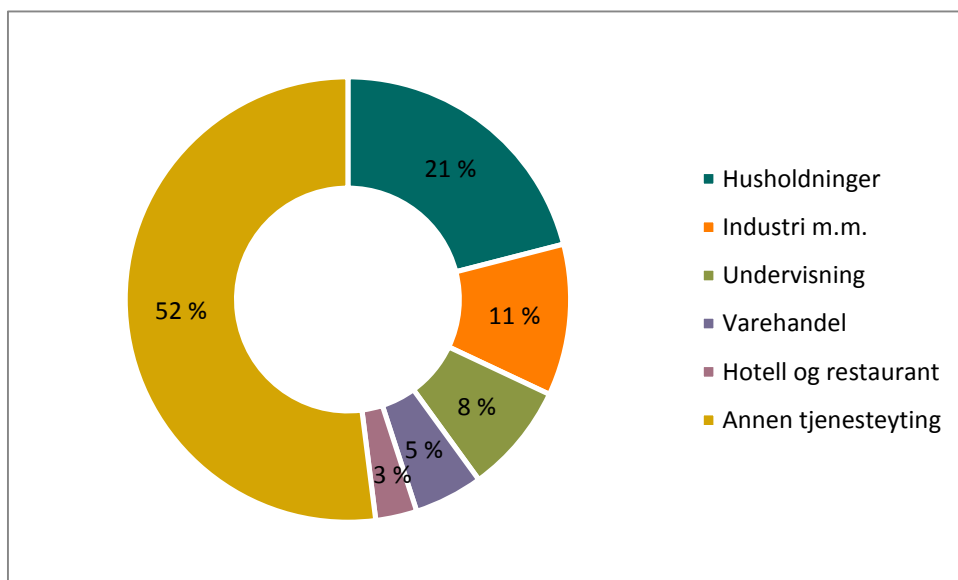
Det er i framskrivingene beregnet at utslippene fra energiforsyning vil være 1,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030 og 1,8 millioner tonn i 2050. I framskrivingene er fjernvarmesektoren tillagt en generell effektivisering på 1,5 prosent per år, på lik linje med de fleste andre sektorer, mens gasskraft ikke er dekket av denne antagelsen.

Framskrivningen for gasskraftverkene bygger på PM2013. Gasskraftverket på Kårstø er inkludert med halv drift og uten CCS, mens Mongstad er inkludert med full drift og karbonfangst og lagring (CCS) med 85 prosent rensegrad fra 2020. De beregningstekniske forutsetningene som utslippene i PM2013 fra varme- og kraftproduksjon bygger på er nå endret, som følge av at fullskala rensing på Mongstad er utsatt på ubestemt tid og eventuell framtidig drift på Kårstø er svært usikker. Dette betyr at med dagens kunnskap er referansebanens utslipp for gasskraft høyere enn det som kan forventes. I tiltaksvurderingene har vi valgt å løse denne problemstillingen ved å legge framskrivingene fra PM2013 til grunn, men justere den for å ta høyde for endringer i aktivitet og manglende gjennomføring av CCS. Banen er justert slik at referansebanen i analysen gjenspeiler om lag halv drift på gasskraftverket på Mongstad, uten CCS.

4.6.2.1 Fjernvarme

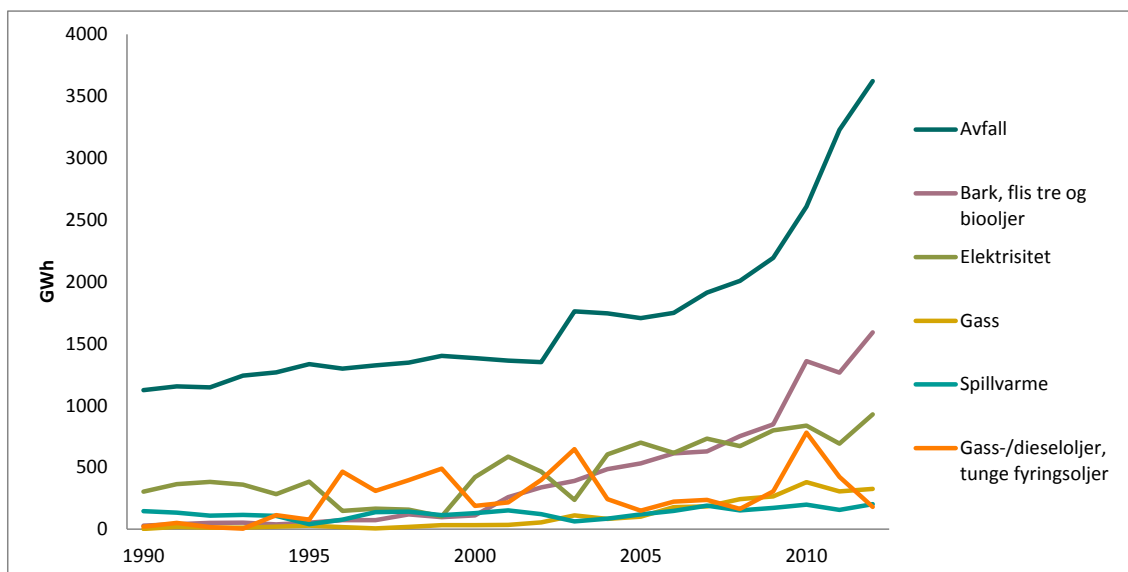
Det ble i 2012 produsert 5800 GWh vann og damp i fjernvarmeanleggene. Ca. 300 GWh ble levert til produksjon av elektrisitet, og til forbruker ble det levert om lag 4200 GWh fra fjernvarme, som er fem ganger så høyt som i 1990. Resten av produksjonen ble avkjølt mot luft og var tap i fordelingsnettet.

Tjenesteytende næringer er den største forbrukeren av fjernvarme, og til sammen 2800 GWh ble levert til denne sektoren i 2012 (Figur 4-48). Til sammenligning ble 813 GWh levert til husholdninger.



Figur 4-48 Nettoproduksjon av fjernvarme fordelt på forbruker. 2012. Kilde: Fjernvarmestatistikk, SSB.

Avfall er den viktigste energivaren i fjernvarmesektoren (Figur 4-49), og forbruket av avfall i fjernvarmesektoren er nesten tredoblet siden 1990. Bioenergi (bark, flis, tre og biooljer) har også økt betraktelig, og utgjorde i 2012 23 prosent av energiforbruket i fjernvarmesektoren.



Figur 4-49 Forbruk av brensel til bruttoproduksjon av fjernvarme, 1990-2012. GWh. Kilde: Fjernvarmestatistikk, SSB.

Dagens virkemidler innen energiforsyning

Forskning og utvikling

Gjennom forskningsprogrammet CLIMIT har det blitt bevilget penger til forskning på CCS. Det har også blitt etablert et teknologisenter på Mongstad.

Enovas støtteordninger

Gjennom Program for fjernvarme gir Enova støtte til nyetablering eller videreutvikling av eksisterende fjernvarmeanlegg og infrastruktur.

EUs kvotesystem

I perioden 2008-2012 var 23 fjernvarmeanlegg, samt Naturkraft Kårstø og Mongstad varmekraftverk, underlagt kvoteplikt. Dette er videreført fra og med 2013.

CO₂-avgift

Fjernvarmeanleggene betaler CO₂-avgift for fyringsolje og naturgass.

4.6.3 Energiforsyning i et lavutslippssamfunn

4.6.3.1 Nye muligheter for gasskraftverkene

Mongstad kraftvarmeverk er et gasskraftverk som produserer kraft og varme. Denne typen anlegg betegnes "Combined Heat and Power", eller CHP-anlegg. Kraftverket har to gasssturbiner og en dampturbin, og ved full drift kan anlegget produsere 350 MW elektrisk kraft, og 280 MW varme. Siden anlegget startet opp i 2010 har bare en av turbinene vært i drift. Energiverket kjøres derfor bare på halv kapasitet. Energiverket fyres med fyrgass fra raffineriet på Mongstad og naturgass fra gassprosesseringsanlegget på Kollsnes. Gassene forbrennes i en turbin som genererer elektrisk kraft, og varme fra eksosgassen brukes blant annet til produksjon av høytrykksdamp. Både kraft, varme og høytrykksdamp leveres tilbake til raffineriet på Mongstad, og kraftoverskuddet fra energiverket leveres til det regionale kraftnettet. Varmen som leveres til raffineriet brukes blant annet til forvarming av råoljestrømmen før destillasjon. Det årlige CO₂-utslippet fra gasskraftverket på Mongstad er ca. 600 000 tonn.

Gasskraftverket på Kårstø er av typen Combined Cycle, eller kombi-kraftverk, og består av en gasssturbin og en dampturbin kombinert med en varmegjenvinningskjele som produserer elektrisitet. Virkningsgraden kommer opp mot 58 til 60 prosent. Kapasiteten på anlegget er på 430 MW eller en årlig produksjonsevne på 3,5 TWh (Naturkraft, 2014). Anlegget er klargjort for ettermontering av renseanlegg for CO₂. Kårstø gasskraftverk hadde et utslipp på ca. 1 million tonn CO₂ i 2009, men har siden juni 2011 ikke vært i ordinær drift og er nå satt i preserving, jf. kapittel 4.6.2. Utslippene i 2012 var på bare 26 000 tonn CO₂, som var utslippene fra vedlikeholdskjøring.

Ved drift av gasskraftverket på Mongstad og en eventuell drift av Kårstø kan ikke Miljødirektoratet se noen andre tiltak enn CCS som kan redusere utslippene av CO₂ betydelig.

4.6.3.2 Fjernvarme i lavutslippssamfunnet

Fjernvarmesektoren er både et ledd i forsyningssikkerheten og i avfallshåndtering av restavfall. Myndighetenes motivasjon for å subsidiere og legge til rette for en utbygging av fjernvarme har vært basert på flere forhold. Dels har en ønsket å redusere elektrisitetsforbruket for å øke forsyningssikkerheten og unngå for høye kraftpriser i tørrår, dels har en ønsket å utnytte varmeressurser som spillvarme og avfall som forbrennes, dels har en ønsket å stimulere til økt bruk av bioenergi til varmeformål (NVE, 2010a). Fjernvarmeanlegg bidrar til forsyningssikkerheten ved at flere ulike brensler kan benyttes, og Enova har gitt støtte til utbygging av fjernvarmeanlegg. Framtidige endringer i klimagassutslipp fra fjernvarmeproduksjon avhenger av hvilke energivarer

som benyttes. Avfall har tradisjonelt vært det dominerende brenselet, og som nevnt i kapittel 4.5 om avfall vil det også i framtiden være restavfall som må behandles.

Økt materialgjenvinning og biologisk behandling gir reduserte avfallsmengder til forbrenning. I Europa er det fremdeles store avfallsmengder som går til deponi, men denne mengden vil sannsynligvis på sikt bli betydelig redusert. Med redusert deponering av avfall vil det være en del avfall i det europeiske markedet som skal forbrennes, siden det ikke er egnet for materialgjenvinning eller biologisk behandling som følge av kvalitet eller innhold av miljøgifter. Norge konkurrerer med andre land om avfall til forbrenning, og det er derfor usikkert i hvilken grad forbrenningsanleggene i Norge vil satse på en slik import, eller om de heller vil bygge ned kapasiteten på sikt. I takt med økt materialgjenvinning og biologisk behandling av avfall frem mot 2050 er det meget lite sannsynlig at mengden avfall som forbrennes vokser i samme grad som den totale avfallsmengden. På grunn av dette og økt konkurranse med blant annet svenske avfallsforbrenningsanlegg vil avfallsforbrenningskapasiteten i Norge trolig ikke økes mot 2030 og 2050.

Ved økt materialgjenvinning og tiltak innen avfallsreduksjoner er det grunn til å tro at vi får reduserte mengder fossilt materiale i avfallet som forbrennes. Dette påvirker også brennverdien i avfallet, og det vil kunne bli nødvendig i større grad å "fylle på" med mer avfall eller annet materiale, for eksempel biobrensler. Samtidig vil økt utsortering av våtorganisk avfall med lav brennverdi påvirke brennverdien til avfallet i motsatt retning. Det er ikke gjort beregninger av totaleffekten av redusert forbrenning av plastavfall og annet avfall med høy brennverdi, og våtorganisk avfall og annet avfall med lav brennverdi.

Framtidig etterspørsel etter fjernvarme

Vi antar at varslet skjerping av byggeforskrifter vil kunne redusere energibehov og særlig oppvarmingsbehov for nybygg og rehabiliterte bygninger. Sammen med energieffektivisering vil dette kunne ha betydning for etterspørselen fram mot 2050. For eksempel kan videre utbygging av fjernvarmenettet for oppvarming av særlig nye bygg bli mindre aktuelt fram mot 2050 når byggeforskriftene skjerpes. Videre vil utviklingen av desentralisert energiproduksjon av både varme, kjøling og elektrisitet (plussus) med mulighet for å levere elektrisitet til nettet kunne ha et omfang av betydning når vi kommer fram mot 2050. Eksisterende fjernvarmeinfrastruktur gir gode muligheter for distribusjon av overskuddsvarme fra for eksempel avfallsforbrenning og spillvarme fra industrien også i framtiden.

4.6.3.3 Mulig med nullutslipp fra energiforsyningssektoren i 2050?

Det er som beskrevet over stor usikkerhet knyttet til nivået på framtidig drift av gasskraftverkene. Ved drift av anleggene er CCS en nødvendighet for at utslippene skal minimeres.

Mulighetene for utslippsreduksjoner fra fjernvarme er avhengig av omfang av bruk av petroleumsprodukter og innslaget av fossile materialer i avfallet. Avfallsforbrenningsanleggene har stor fleksibilitet knyttet til hvilken energivare som benyttes, og det finnes teknologier som gjør det mulig å erstatte petroleumsprodukter med fornybare energivarer. Forbrenning av avfall er en viktig funksjon for dagens fjernvarmesektor, og vi forutsetter at dette fortsetter i framtiden. Sammensetningen av avfallet som forbrennes vil ha stor betydning for CO₂-utslippene, og økt materialgjenvinning og utsortering vil påvirke mengden fossilt karbon i forbrent avfall. Økte andeler biomasse eller spillvarme kan også påvirke energisammensetningen i framtiden.

4.6.4 Tiltaksanalyse mot 2030

4.6.4.1 Gasskraftverkene

Referansebanen for gasskraftverkene er justert slik at den i analysen gjenspeiler om lag halv drift på gasskraftverket på Mongstad, uten CCS. Dermed blir CCS å betrakte som et ikke-vedtatt tiltak, som deretter inkluderes og beskrives i tiltakslisten.

I Klimakur ble CCS på gasskraftverkene på Mongstad og Kårstø anslått til å ha kostnader rundt 1500 kr/tonn CO₂ unngått. CCS på gasskraftverk ble i denne vurderingen ansett for å være et tiltak som var ganske spesielt for Norge. Siden den gang har teknologien blitt aktualisert internasjonalt, blant annet gjennom satsning på skifergass (Einbu, 2012), og det er derfor grunn til å tro at teknologien vil kunne bli tilgjengelig innen rimelig tid. Tiltaket er derfor vurdert som middels krevende å gjennomføre. På lengre sikt har det blitt anslått at det vil kunne være mulig å gjennomføre CO₂-fangst i Norge til en kostnad ned mot 500 kr/tonn CO₂ (Røkke & Eldrup, 2011), men i denne analysen er en kostnad på over 1500 kr/tonn CO₂ lagt til grunn. Med om lag halv drift på Mongstad og CCS med 85 prosent rensesgrad vil restutslippet fra kraftvarmeverket på Mongstad være på om lag 100 000 tonn CO₂.

4.6.4.2 Fjernvarme med mer

Totalt fire tiltak er vurdert innen fjernvarmesektoren. Som nevnt tidligere kan utslipp fra fjernvarmesektoren minimeres ved skifte av energibærere. To tiltak fra Klimakur er vurdert for å redusere bruken av fossile energibærere. Dette gjelder konvertering fra bruk av olje/dieselolje til biooljer og fra naturgass til elektrisitet. Det er lagt til grunn at all olje og naturgass kan erstattes. Tiltakene vil kunne medføre reduksjon på om lag 170 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030, med en kostnad som varierer fra under 500 kroner per tonn CO₂ unngått til over 1500 kroner per tonn CO₂ unngått. Tiltakene er anslått å være relativt enkle å gjennomføre.

Avfall utgjør i dag den største fraksjonen av det som forbrennes i energianleggene i fjernvarmesektoren, og fordi det fortsatt vil være behov for forbrenning av restavfall er det ikke vurdert tiltak for å konvertere fra avfall til andre energivarer. Tilgjengelighet av avfall til forbrenning kan potensielt bli redusert (se avsnitt 4.6.3.2), men effekten av dette på utslippene er ikke vurdert i denne analysen.

Mengden fossilt materiale i avfallet som forbrennes påvirker CO₂-utslippene, og tiltak for å redusere denne mengden er vurdert i avfallskapet (kapittel 4.5). Det er i hovedsak to tiltak som er kvantifisert; økt materialgjenvinning av plastavfall og økt utsortering av tekstiler til materialgjenvinning. Ambisjonsnivå vil avgjøre kostnad og gjennomførbarhet for disse tiltakene, og beregningene viser at det kan gi en utslippsreduksjon på opptil henholdsvis 110 000 og 20 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Kostnader og gjennomførbarhet er ikke kvantifisert, og de er i denne analysen satt på middels kostnad (500-1500 kr/tonn CO₂) for økt materialgjenvinning av plastavfall og lav kostnad (< 500 kr/tonn CO₂) for økt utsortering av tekstiler til materialgjenvinning.

Dersom alle fire foreslåtte tiltak gjennomføres for fjernvarmesektoren vil restutslippet kunne ligge på om lag 600 000 tonn i 2030.

Det er ikke utredet tiltak for å redusere bruken av kull ved varme- og elektrisitetsproduksjon på Svalbard. Det foreligger ingen åpenbare alternativer til kull i denne produksjonen. Muligheten for CO₂-rensing har vært diskutert (Ressurs og Miljø AS, 2012), men et slikt tiltak er ikke kvantifisert i denne analysen.

Tabell 4-23 Vurderte tiltak for energiforsyningssektoren, 2030. Tiltakene er sortert etter estimert tiltakskostnad og gjennomførbarhet. Forutsetningene for hvert tiltak er beskrevet i kortform under tabellen. Reduksjonspotensialet i tonn CO₂-ekvivalenter er ikke adderbar, siden ett av tiltakene er lagt inn med flere ambisjonsnivåer.

Tiltak	Gjennomførbarhet		
Kostnad	Forholdsvis enkelt	Middels krevende	Krevende
Lav < 500 kr/tonn	- Økt utsortering av brukte tekstiler i materialer (20 000 tonn CO₂-ekv.) - Fjernvarme fra fyringsolje til biodiesel (50 000 tonn CO₂-ekv.)		
Medium 500–1500 kr/tonn	Økt materialgjenvinning av plastavfall (lavt ambisjonsnivå) (50 000 tonn CO₂-ekv.)	Økt materialgjenvinning av plastavfall (middels ambisjonsnivå) (110 000 tonn CO₂-ekv.)	
Høy >1500 kr/tonn	Fjernvarme fra naturgass til elektrisitet for spisslast (120 000 tonn CO₂-ekv.)	CCS på gasskraftverk (500 000 tonn CO₂-ekv.)	

Overlapp:

Det er ikke overlapp mellom tiltakene innad i en gruppe. Økt materialgjenvinning av plastavfall er lagt inn med to ambisjonsnivåer, og kan derfor ikke adderes.

Forutsetninger:

1. Tiltaket "Økt utsortering av brukte tekstiler i materialer" er beskrevet i kapittelet om avfallssektoren (kapittel 4.5). Tiltaket er ikke kostnadsberegnet, og er basert på vurdering for 2020 i avfallsstrategien. Innebærer noe teknologiutvikling.

2. Konvertering fra fyringsolje til biodiesel for fjernvarmesektoren. Tiltaket ble utredet i Klimakur. Fyringsoljens andel av dagens klimagassutslipp fra fjernvarme er framskrevet med framskrivingen av fjernvarme totalt, og deretter er den resulterende mengden utslipp eliminert ved å konvertere til bruk av biodiesel.

3. og 4. Tiltaket "Økt materialgjenvinning av plastavfall" er beskrevet i kapittel om avfallssektoren (kapittel 4.5).

5. Konvertering fra naturgass til elektrisitet for fjernvarmesektoren. Tiltaket ble utredet i Klimakur. Naturgassens andel av dagens klimagassutslipp fra fjernvarme er framskrevet med framskrivingen av fjernvarme totalt, og deretter er den resulterende mengden utslipp eliminert ved å konvertere til bruk av elektrisitet. Et aktuelt alternativ, som ikke er kvantifisert, er overgang fra naturgass til biogass.

6. CCS på Mongstad er inkludert i referansebanen, men er her vurdert som et tiltak med utslippsreduksjoner (blir derfor lagt til i referansebanen her). Det er stor usikkerhet knyttet til kostnadene, vi har lagt til grunn at teknologien blir tilgjengelig.

4.6.4.3 Mulige virkemidler

Det er allerede iverksatt mange virkemidler for å muliggjøre CCS på gasskraftverkene. En videreføring av disse virkemidlene vil kunne bringe oss nærmere fullskala CCS på kraftvarmeverket på Mongstad. Det vil være behov for mer forskning og utvikling og en videreføring av arbeidet som utføres av Gassnova. Det må også foreligge en statlig beslutning om fortsatt satsning på CCS innen gasskraftverkene.

For reduksjoner av utslippene i fjernvarmesektoren vil mange av virkemidlene ligge i avfallssektoren. Disse virkemidlene påvirker hovedsakelig mengden og sammensetningen av avfall som leveres til forbrenning. Dette gjelder spesielt tiltak for å redusere mengden plastavfall og øke utsortering av tekstiler og våtorganisk avfall (som påvirker brennverdien til avfallet). Disse tiltakene er beskrevet i avfallskapittelet. I tillegg vil støtteordninger via for eksempel Enova kunne benyttes for å gi incentiver til en overgang fra fossile til fornybare energikilder.

4.6.5 Mulige utslippsnivåer

I Tabell 4-24 oppsummeres tiltakspakker som er satt sammen basert på vurderinger av kostnad og gjennomførbarhet. Tiltakene er kvantifisert i forhold til justert referansebane. Selv med gjennomføring av kostbare eller vanskelig gjennomførbare tiltak ligger det an til at det fortsatt er betydelige utslipp fra energiforsyningssektoren både i 2025 og 2030. Dette vil være utslipp som i hovedsak stammer fra gasskraftverket på Mongstad (anslått ca. 100 000 tonn CO₂-ekvivalenter når CCS er gjennomført på Mongstad), utslipp fra avfallsforbrenning i energianleggene i fjernvarmesektoren (anslått 600 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030), samt noe fra kullbasert varme- og elektrisitetsproduksjon på Svalbard.

Tabell 4-24 Potensielle utslippsreduksjoner i 2025 og 2030 ved ulike kostnads- og gjennomførbarhetsvurderinger

Kostnader og gjennomførbarhet for tiltak innen energiforsyning				
			Utslipp 2025 (mill. tonn CO ₂ -ekv.)	Utslipp 2030 (mill. tonn CO ₂ -ekv.)
Referansebane			1,7	1,7
Revidert referansebane			1,5	1,5
	Kostnader	Gjennomførbarhet	Utslippsreduksjoner 2025 (mill. tonn CO ₂ - ekv.)	Utslippsreduksjoner 2030 (mill. tonn CO ₂ - ekv.)
Tiltakspakke 1 ¹	< 500 kr/tonn	Forholdsvis enkelt	0,1	0,1
Tiltakspakke 2	< 1500 kr/tonn	Forholdsvis enkelt eller middels krevende	0,2	0,2
Tiltakspakke 3	Alle	Alle	0,8	0,8
			Utslipp 2025 (mill. tonn CO ₂ -ekv.)	Utslipp 2030 (mill. tonn CO ₂ -ekv.)
Restutslipp i energiforsyning (tiltakspakke 3)			0,7	0,7

¹Omfatter også økt materialgjenvinning av plastavfall med lavt ambisjonsnivå. Dette tiltaket har en kostnad som skulle tilsi at det plasseres i tiltakspakke 2, men plasseres her fordi det er omfattet av EU-krav.

4.6.6 Energikonsekvenser av endringer i energiforsyningssektoren

Tiltak som går på konvertering fra fossile energivarer til fornybare energivarer påvirker etterspørselen etter blant annet elektrisitet og bioenergi. Tiltakene i denne analysen medfører en økt etterspørsel etter elektrisitet på opp mot 0,6 TWh, mens etterspørselen etter biodiesel kan øke med i størrelsesorden 0,2 TWh. Eventuelle konsekvenser på bruk av biobrensler fra tiltak som endrer sammensetningen, og dermed potensielt energiinnholdet, av avfallet som forbrennes i energianleggene i fjernvarmesektoren, er ikke kvantifisert. I Tabell 4-23 gjelder dette økt utsortering av brukte tekstiler i materialer og økt materialgjenvinning av plastavfall.

4.6.7 Oppsummering

Utslipp av klimagasser fra energiforsyning kan reduseres med om lag 1,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030 dersom alle tiltakene settes i verk. I hovedsak er alle tiltakene, slik de er definert i denne analysen, enten forholdsvis enkle eller middels krevende å gjennomføre. Kostnadene per tonn CO₂ redusert varierer betydelig, og CCS på gasskraftverk og konvertering fra naturgass til elektrisitet i fjernvarmesektoren er de dyreste.

I 2012 utgjorde utslippene av klimagasser fra energiforsyning 1,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Disse utslippene kan med tiltakene i denne analysen potensielt mer enn halveres, til ca. 700 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

De beregningstekniske forutsetningene som referansebanen bygger på er nå endret som følge av at fullskala rensing på Mongstad er utsatt på ubestemt tid og Kårstø er satt på vent. I tillegg til

avlysningen av fullskala rensing antas forventningene om energiproduksjonen endret. Disse endringene antar vi vil redusere utslippene fra varme- og kraftproduksjonen i forhold til referansebanen. I tiltaksvurderingene har vi valgt å løse problemstillingen ved å legge framskrivingene fra PM2013 til grunn, men justere den for å ta høyde for endringer i aktivitet og manglende gjennomføring av CCS. Banen er justert slik at referansebanen i analysen gjenspeiler halv drift på Mongstad, uten CCS.

Framtidig driftsomfang av gasskraftverkene på Mongstad og Kårstø er usikker. Dersom CCS skal gjennomføres vil dette i dag kreve statlige midler og fortsatt teknologiutvikling. For reduksjoner av utslippene i fjernvarmesektoren vil mange av virkemidlene ligge i avfallssektoren. I tillegg vil støtteordninger via for eksempel Enova kunne benyttes for å gi incentiver til en overgang fra fossile til fornybare energikilder.

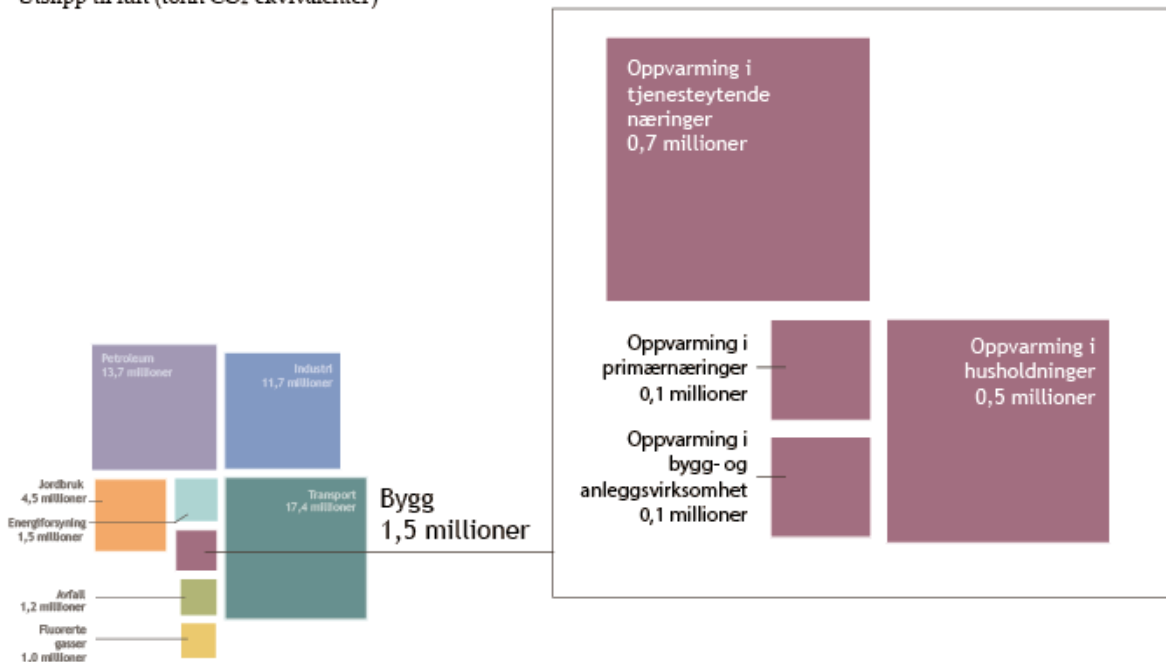
Hvorvidt en tilnærmet utslippsfri energiforsyningssektor i 2050 er mulig eller ikke avhenger av både aktivitet og av teknologi. Gasskraftverkene kan få kraftig reduserte utslipp med CCS. En rensegrad på 85 prosent er lagt til grunn for denne analysen, og med mindre rensegraden øker eller aktiviteten avtar vil det fortsatt være et restutslipp i 2050.

Avfallsforbrenningsanleggene har stor fleksibilitet knyttet til hvilken energivare som benyttes, og det er mulig å erstatte petroleumsprodukter med fornybare energivarer. Forbrenning av avfall en viktig funksjon for dagens fjernvarmesektor, og vi legger til grunn at anleggene vil ha denne funksjonen også i framtiden. Dermed vil muligheten for å minimere utslippene fra fjernvarmesektoren også i framtiden kunne være sterkt knyttet opp mot virkemidler og tiltak i avfallssektoren, slik som utsortering og gjenvinning av fossile materialer i avfallet.

4.7 Bygg

Utslipp av klimagasser fra byggsektoren i 2012

Utslipp til luft (tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 4-50 Utslipp fra byggsektoren, 2012.

4.7.1 Innledning

Dette kapittelet omhandler byggsektorens rolle på veien mot lavutslippssamfunnet. Innledningsvis gjør vi rede for hva sektoren omfatter. Deretter beskrives utslippene fra sektoren slik de er i dag, hvordan utslippsutviklingen har vært siden 1990 og hvordan utslippsutviklingen forventes å bli fram mot 2050, basert på framskrivninger for sektoren med dagens tiltak og virkemidler. Endelig diskuterer vi muligheten for å eliminere klimagassutslippene fra sektoren, samt tiltak for å redusere utslippene fram mot 2025 og 2030. Som beskrevet i kapittel 4.1 regnes det ikke klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet.

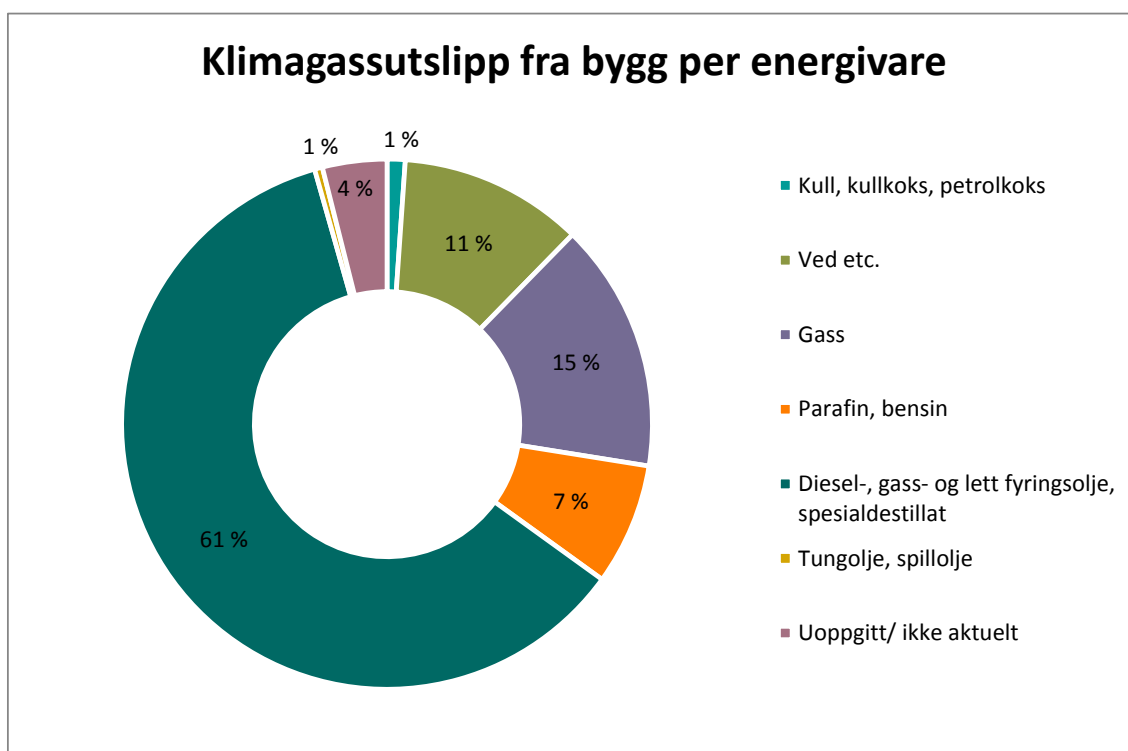
Byggsektoren omfatter klimagassutslipp fra oppvarming i husholdninger, tjenesteytende næringer (inkludert offentlig sektor), primærnæringer og bygg- og anleggsvirksomhet. I et energiperspektiv er også annen energibruk i bygninger (for eksempel til belysning og bruk av elektriske artikler) inkludert her. Denne energibruken er imidlertid i all hovedsak dekket ved bruk av elektrisitet, og forårsaker ikke klimagassutslipp i sektoren.

Byggsektoren har lave klimagassutslipp i Norge sammenlignet med samme sektor i andre land, i og med at en betydelig andel av energibehovet dekkes av elektrisitet. Utslippene er også nesten halvert i perioden fra 1990. Sektoren er likevel viktig i vurderinger av framtidens lavutslippssamfunn både for å redusere eller fjerne de gjenværende klimagassutslippene, og for vurderinger av energieffektivisering. I et europeisk perspektiv er klimanøytral elektrisitet et knapphetsgode, og energieffektivisering av bygg er viktig for klima dersom man forutsetter at den energien som spares kan erstatte energivarer i andre sektorer som har høyere klimagassutslipp. Det er rimelig å anta at man kan få en klimagevinst hvis redusert energibruk i byggsektoren muliggjør elektrifisering i andre sektorer, f.eks. transportsektoren. Denne sammenhengen er utdypet nærmere i kapittel 6.

4.7.2 Utslipp og framskrivinger

Byggsektorens utslipp av klimagasser var i 2012 på 1,45 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, noe som utgjorde 2,8 prosent av Norges totale klimagassutslipp. Figur 4-50 viser fordelingen av utslipp i byggsektoren i 2012 fordelt på ulike utslippskilder. Tjenesteytende næringer står for nesten halvparten av klimagassutslippene fra oppvarming av bygninger, mens husholdninger slipper ut 36 prosent av klimagassutslippene fra oppvarming (Figur 4-50). Klimagassutslippene fra oppvarming er i hovedsak CO₂-utslipp fra fossile energivarer. Elleve prosent av utslippene i 2012 var imidlertid metanutslipp, hovedsakelig fra vedfyring i husholdningene. Dette utgjorde 3,5 prosent av de norske metanutslippene. Metan dannes ved forbrenning av både fossile og ikke-fossile materialer. Mens CO₂-utslipp fra ikke-fossile materialer ikke inkluderes i utslippstallene fordi de regnes som en del av den "raske delen" av karbonsyklusen (se kapittel 3.9) inkluderes metanutslippene fra ikke-fossile materialer fordi det blir en ytterligere klimaeffekt, utover det man ville fått i et karbonkretsløp uten forbrenning.

Bruk av fyringsolje utgjorde 61 prosent av klimagassutslippene fra oppvarming i 2012 (Figur 4-51). Det er særlig utslippene fra parafin og fyringsolje som er redusert siden 1990. Bruk av gass til oppvarming er den nest største kilden til utslipp innen oppvarming av bygninger. Utslippene fra gassbruk i bygninger var over 24 ganger høyere i 2012 enn i 1990. Klimagassutslippene fra oppvarming av bygninger er redusert med nesten 45 prosent i perioden fra 1990 til 2012. I 1990 utgjorde oppvarming 5,2 prosent av Norges totale klimagassutslipp.

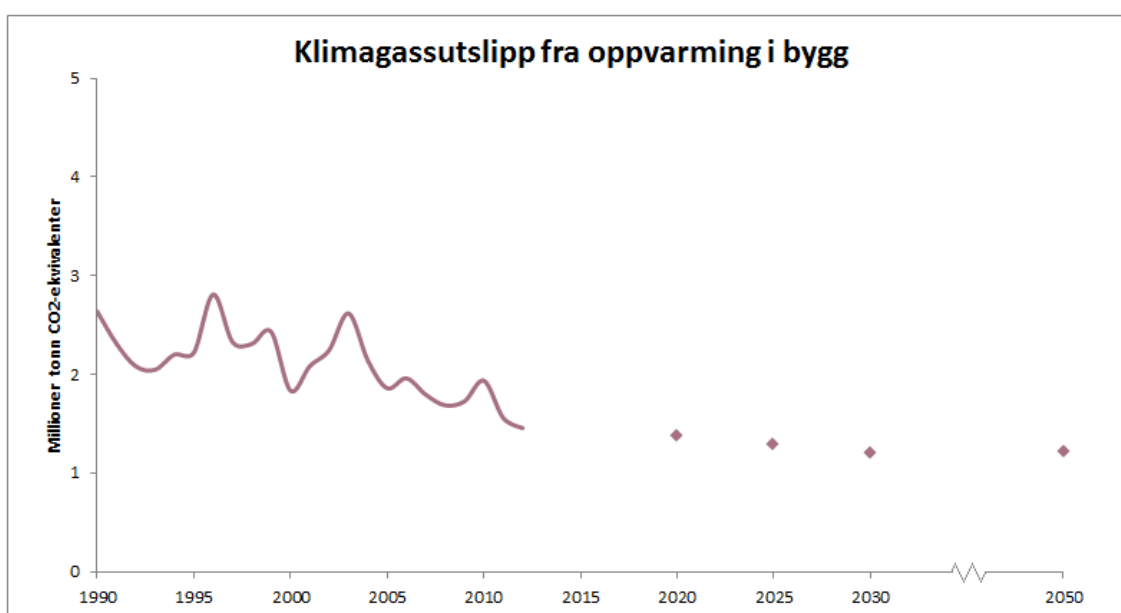


Figur 4-51 Klimagassutslipp fra oppvarming fordelt på energivarer, 2012. Prosent. Kilde: SSB.

Byggsektoren er underlagt en rekke virkemidler som bidrar til å redusere klimagassutslippene og energibruk (se faktaboks). Det er forventet at utslippene fra sektoren vil reduseres med ytterligere 17 prosent fram mot 2030 som følge av disse virkemidlene, og uten at det iverksettes nye tiltak (Figur 4-52). I framskrivingene er det tatt hensyn til allerede vedtatte virkemidler. Forbud mot oljefyring i husholdningene og til grunnlast i øvrige bygg er vedtatt i klimaforliket (se faktaboks), men regelverket er foreløpig ikke vedtatt. Effekten av dette er derfor ikke med i framskrivingene,

og regnes som tiltak i denne sammenheng. Det er i framskrivingene forutsatt en generell energieffektivisering for oppvarming på 1,5 prosent per år. For husholdninger er det lagt til grunn en videreføring av eksisterende trendutvikling i forbruket av fossile energivarer, slik at bruken av fossile brensler er nesten borte innen 2030. Det er forutsatt at denne utviklingen vil skje som følge av eksisterende virkemiddelbruk. Forbruket av ved øker i framskrivingen med 1 prosent per år, og dermed øker metan- og lystgassutslippene i framskrivingene. Veksten i forbruket av ved er om lag lik som den årlige veksten i periodene 1990-2011 og 1998-2011.

For tjenesteytende næringer er det lagt til grunn at utslippene vil holde seg på dagens nivå, samtidig som vi antar at aktiviteten kommer til å øke. Det betyr i praksis at tjenesteytende næringer forventes å delvis gå over til å bruke ikke-fossile energivarer med eksisterende virkemidler. Primærnæringer inkluderer oppvarming av veksthus, og dette står for en stor del av utslippene. Framskrivningene legger til grunn at veksthusproduksjonen øker, men at forbruket av fossilt brensel holder seg på dagens nivå.



Figur 4-52 Utslippsutvikling (1990–2012) og framskrivinger (2020–2050) for byggsektoren.

Med dette som bakteppe er hovedfokus i denne analysen å kartlegge tiltak som kan redusere CO₂-utslippene fra bruk av fossile energivarer i oppvarming av næringsbygg eller som kan redusere metanutslipp fra vedfyring.

Dagens virkemidler i byggsektoren

Byggsektorens energibruk er underlagt mange av de samme virkemidlene som andre sektorer, som for eksempel CO2-avgift. I tillegg kommer virkemidler spesielt rettet mot bygg:

Byggteknisk forskrift (TEK): Forskriften er rettet mot prosjektering og utførelse av nybygg og bygg som gjennomgår større rehabiliteringer. Energidelen (kapittel 14) stiller krav til byggets energieffektivitet og energiforsyning. Krav til energieffektivitet kan oppfylles for hver enkelt bygningsdel eller som et samlet energikrav (energiramme) for bygget. Kravene til energiforsyning innebærer begrensede muligheter til bruk av fossile brenslere og direktevirkende elektrisitet til oppvarming. Det er varslet revisjoner av TEK, se nedenfor.

Forskrift om energimerking av bygninger og energivurdering av tekniske anlegg: Formålet med energimerkeordningen er å stimulere til økt oppmerksomhet om bygningers energitilstand og mulighetene for å redusere energibruken i bygninger. Formålet med energivurderingen er å stimulere til effektiv drift og vedlikehold og riktig dimensjonering av anlegg. Energimerking er obligatorisk for nybygg og for alle som skal selge eller leie ut boliger eller yrkesbygg. Yrkesbygg over 1000 kvadratmeter skal alltid ha gyldig energiattest.

Økodesigndirektivet: Implementert i Norge med Økodesignforskriften, som trådte i kraft i 2011. Forskriften skal fremme utvikling og anvendelse av energieffektive og miljøvennlige energirelaterte produkter for å bidra til å begrense energibruken og belastningen på miljøet i hele produktenes livssyklus. Blant annet elektriske husholdningsapparater, lyskilder, kjøleanlegg, vifter og pumper er omfattet.

NVEs plusskundeordning: Typiske plusskunder vil være folk som bor i boliger med solpanel på taket, eller andre boliger eller virksomheter som generer elkraft i begrenset omfang. Gjeldende regelverk kan være et hinder for at denne overskuddsproduksjonen blir matet inn i nettet. NVE har derfor gitt en generell dispensasjon som forenkler håndteringen av overskuddskraft fra sluttbrukere som produserer en begrenset mengde kraft som de ønsker å mate inn i nettet, såkalte plusskunder. Regelverket rundt dette er under revidering.

Forbud mot fyring med tungolje i Oslo og Drammen: Ifølge forurensningsforskriften § 8-4 er det forbudt å forbrenne tung fyringsolje i Oslo og Drammen.

Enovas rådgiving og støtteordninger: Enova tilbyr rådgivning og støtteordninger for eiere av boligbygg og næringsbygg. Enova gir støtte til tiltak på energieffektivisering og energiomlegging fra direktevirkende elektrisitet og fossile energikilder til fornybar energi. Det finnes mange ulike programmer rette mot ulike byggkategorier og teknologier. Se enova.no for mer informasjon. Enova blir tildelt midler fra energifondet som finansieres blant annet gjennom et kostnadspåslag på strømregningen.

Virkemidler i regi av kommuner: Oslo kommune tilbyr via sitt klima- og energifond tilskudd og lån til effektiviseringstiltak og innstallering av utstyr for fornybar energi. Både boligbygg og næringsbygg støttes. Enkelte andre kommuner har også tilskuddsordninger.

Varslede virkemidler i byggsektoren

Forbud mot oljefyring: Forbud mot oljefyring ble vedtatt i klimaforliket fra 2012. Dette innebærer et forbud mot fyring med fossil olje i husholdninger og til grunnlast i øvrige bygg i 2020. Regelverk for dette er foreløpig ikke utarbeidet, men Enova har allerede innført støtteordninger for boligeiere som vil erstatte oljekjelen med en ny fornybar løsning. I klimaforliket ble det i tillegg bestemt av fossil oljefyring som grunnlast skal fases ut av alle statlige bygg innen 2018. I ettertid har Statsbygg bestemt seg for å gå foran og fase ut oljefyring som grunnlast innen utgangen av 2016.

Revidering av byggteknisk forskrift: Klimameldingen, klimaforliket og byggmeldingen legger opp til at energikravene i TEK skal tilsvare passivhusnivå i 2015 og nesten nullenerginivå i 2020. Byggmeldingen varslet også komponentkrav i form av krav til energiytelse når enkeltkomponenter byttes ut i et bygg. Komponentkrav følger også av klimameldingen og klimaforliket. Regjeringen varslet gjennom regjeringsplattformen innføring av skattefradrag for enøktiltak i husholdningene.

4.7.3 Byggsektoren i et lavutslippssamfunn

Det er rimelig å anta at utslippene fra byggsektoren vil gå betydelig ned mot 2050 også uten iverksetting av ytterligere tiltak. Utskifting av bygningsmassen og oppgradering av eksisterende bygningsmasse vil medføre et redusert energibehov. I hvilken grad sektoren i sin helhet kan oppnå nullutslipp i 2050 avhenger av hvilke energibærere som benyttes for å dekke det gjenværende energibehovet. Utfasing av oljefyr i eksisterende bygningsmasse vil kunne fjerne store deler av de gjenværende utslippene fra fossile energibærere, men vil trolig ikke omfatte gass og bruk av fossile energivarer i primærnæringene. Spisslast i næringsbygg er heller ikke med. Selv med en fullstendig utfasing av fossile brenslers vil det fortsatt kunne være klimagassutslipp av metan og lystgass fra brenning av biomasse, særlig i husholdninger.

4.7.3.1 Nybygg

Det viktigste virkemiddelet for å redusere energibruken og klimagassutslipp i nybygg er energikravene i byggeteknisk forskrift (TEK) (se faktaboks). Klimameldingen (Meld. St. 21, 2011-2012), klimaforliket (Miljøverndepartementet, 2012) og byggmeldingen (Meld. St. 28, 2011-2012) legger opp til at energikravene i TEK skal tilsvare passivhusstandard i 2015 og nesten nullenerginivå i 2020. Frem mot 2030 og 2050 kan det komme ytterligere reguleringer og krav i byggeteknisk forskrift. Energimerkeordningen vil kunne medføre økt fokus på bygningers energieffektivitet i framtiden, og plusshus (se faktaboks) kan også etterhvert få gjennomslag i Norge. Dersom dagens virkemidler for reduksjon av energibruk i nybygg videreføres og forsterkes, slik det er politiske føringer for, er det mulig med nybygg som er tilnærmet uten klimagassutslipp i driftsfasen i 2050.

Passivhus, plusshus og smarthus

Passivhus er bygninger med et svært lavt oppvarmingsbehov. Et slikt bolighus har ca. halvparten av energibehovet til et vanlig bolighus fra 2010. Betegnelsen passivhus skyldes at man tar i bruk mest mulig passive tiltak for å redusere energibehovet, f.eks. ekstra varmeisolasjon, ekstra god tetthet, passiv utnyttelse av solvarme, kuldebrofrie ytterkonstruksjoner, superisolerte vinduer, balansert ventilasjon med høyeffektiv virkningsgrad. Videre benyttes ulike oppvarmingsløsninger som solfangere og jordvarmekollektorer. Det er utarbeidet norske standarder med kriterier for passivhus tilpasset norske forhold (NS 3700 - boligbygninger og NS3701 - yrkesbygninger). Byggnæringen står selv bak disse standardene som har langt strengere energikrav enn gjeldene energikrav i byggeteknisk forskrift.

Et plusshus skaper mer energi gjennom sin levetid enn det som ble brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og riving av bygget. Produsert energi fra solfangere, varmepumper, vindmøller og solcellepanel utgjør mer enn huset trenger til oppvarming, varmtvann, elektrisk utstyr og belysning totalt over året.

Energieffektivisering dreier seg også om smarte løsninger for oppvarming og styring av elektrisk utstyr. Smarthus vil kunne gi mulighet for å styre, automatisere og forenkle mange oppgaver i hjemmet. Det finnes mange ulike varianter, alt fra automatisk avlesning av strømforbruket (AMS) og enkle trådløse styringssystemer til avanserte og skreddersydde systemer. Åpne mobil- og nettbrettstyrte systemer har også kommet på markedet og gjør teknologien tilgjengelig for mange. Automatisk avlesning av strømforbruk skal være innført i hele landet i 2019, og gir også muligheter for å jevne ut strømforbruket over døgnet.

4.7.3.2 Eksisterende bygningsmasse

Samlet forbruk av olje, gass og parafin i byggsektoren har hatt en fallende trend siden 1970-årene. Fossil energibruk utgjør nå mindre enn 10 prosent av den totale energibruken i bygg (NVE, 2012). Klimaforliket har varslet at det kommer et forbud mot oljefyring i 2020 for husholdningene. Øvrige

bygg vil få et forbud mot bruk av oljefyring som grunnlast. I et 2050-perspektiv er det sannsynligvis svært lite bruk av fossile brensler til oppvarming igjen.

I hvilken grad utslippene fra oppvarming av eksisterende bygningsmasse kan reduseres til null i 2050 avhenger i stor grad av hvilke energibærere som erstatter dagens oljefyring. Aktuelle erstatninger er ofte varmepumper for husholdningene og flis/pelletsanlegg for yrkesbygg. De som har mulighet til å knytte seg til fjernvarme vil trolig gjøre det. I et klimaperspektiv har sammensetningen av energivarer som brukes til oppvarming av bygg betydning, men den direkte betydningen blir mindre når bruken av energivarer med høye klimagassutslipp reduseres. Dersom man antar at varmepumper får en større rolle for oppvarming av eksisterende bygg er det viktig å ta hensyn til den forventede bruken av HFK og andre klimagasser i varmepumpene.

Det er avdekket et stort potensial for energieffektivisering i eksisterende bygg (Arnstadutvalget, 2010; Enova, 2012), men for å redusere energibruken i eksisterende bygningsmasse kreves det ytterligere virkemiddelbruk. Slik det er i dag er mangel på økonomisk lønnsomhet for byggeiere viktig for å forklare hvorfor det ikke gjennomføres tiltak for å redusere energibruken. Det er lang nedbetalingstid på investeringen, og besparelsene vil ofte komme leietagere og ikke byggeiere til gode. Avgifter eller støtteordninger rettet mot å utløse energisparende tiltak i eksisterende bygg er med på å redusere effekten av dette. Rater for riving, rehabilitering og nybygg har mye å si for framtidig energibruk i byggsektoren. Utskiftingstakten er lavere for husholdningene enn for yrkesbygg. Virkemidler utover bygningsforskriftene er spesielt viktig for husholdningene hvis potensialet i eksisterende bygningsmasse skal utløses.

4.7.3.3 Energibehov mot 2050

Dersom energikravene i TEK skjerpes og energieffektiviseringen lykkes, vil samlet energibehov til bygg trolig falle. Særlig oppvarmingsbehov i nybygg vil reduseres betydelig. Det foreligger flere analyser som vurderer potensialet for energieffektivisering i bygg i Norge. Tallene fra analysene omfatter reduksjon i alle relevante energivarer.

Klimakur 2020 beregnet at energieffektivisering i byggsektoren kunne frigjøre om lag 11 TWh innen 2020 (NVE, 2010b). En gjennomgang utført av Thema Consulting Group for Finansdepartementet og Miljøverndepartementet i 2011 (Bruvoll, Fiksen, Ibenholt, & Tennbakk, 2011) har sett nærmere på blant annet de energieffektiviseringstiltakene i bygg som er beskrevet i Klimakur. Rapporten konkluderer med at en del av effektiviseringspotensialet i Klimakur vil bli utløst gjennom strengere TEK. Det pekes også på at flere kostnadselementer er undervurdert eller ikke-kvantifisert i Klimakur, og at dette kan medføre at tilsynelatende samfunnsøkonomisk lønnsomme tiltak ikke blir gjennomført. Det påpekes også at potensialet for effektivisering er usikkert, blant annet på grunn av usikre forutsetninger om areal og rehabiliteringstakt.

Arnstadutvalget anslo at energieffektivisering kunne redusere energibehovet i den totale bygningsmassen med 10 TWh til 2020 og 40 TWh til 2040. Dette vil utgjøre en halvering i forhold til dagens energiforbruk i bygninger. Reduksjonen fram til 2020 ble anslått å primært kunne realiseres ved energieffektiviseringstiltak, mens nybygg er viktigere fram mot 2040. Med dagens bygge- og riverate anslås det at 37 prosent av bygningsmassen i 2040 vil være bygget i perioden 2010-2040).

NHO anslår at det kan være mulig å spare 8 TWh i løpet av en tiårsperiode gjennom energieffektivisering av eksisterende bygningsmasse (NHO, 2014). Enovas potensial- og barrierestudie fra 2012 (Enova, 2012) kom fram til et noe lavere estimat. De anslo at boliger og yrkesbygg til sammen kan redusere sin energibruk med 4,4-7,5 TWh til 2020, og at det tekniske potensialet for å heve hele bygningsmassen opp til nær nullenergibygninger i 2040 var på 31,5 TWh.

Det er grunn til å tro at ytterligere effektivisering også kan fortsette mot 2050. Andelen "nye" bygg vil være stadig økende. En eventuell innfasing av bygninger som leverer energi til strømmettet vil kunne medføre at det samlede behovet for levert energi til bygninger blir ytterligere redusert. Befolkningsvekst og eventuell vekst i arealbruk per person vil imidlertid trekke i motsatt retning. Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til utviklingen i arealbruk per person, særlig knyttet til næringsbygg. Når en stor andel av bygningsmassen er skiftet ut eller oppgradert vil også dette kunne bremse reduksjonshastigheten i energiforbruket.

Energiutredningen (OED, 2012) angir spenn for utviklingen i etterspørsel etter elektrisk energi i Norge mot 2030 og 2050. De anslår at samlet behov for elektrisk energi i private husholdninger og offentlig og privat tjenesteyting vil ligge et sted mellom 55 og 96 TWh i 2030 og 40 og 128 TWh i 2050. Lavt anslag er basert på en forutsetning om at hele det tekniske energisparingspotensialet realiseres, at halvparten av dette er spart elektrisitet og at forbruket ellers ikke øker i nye bygg. Høyt anslag bygger på en forutsetning om sterk vekst i økonomi og innbyggertall utover referanseforløpet i utredningen.

4.7.3.4 Byggsektorens rolle i fjernvarmesektorens framtid

Varslet skjerping av byggeforskrifter vil gi en kraftig reduksjon av energibehov og særlig oppvarmingsbehov for nybygg. Sammen med energieffektivisering vil dette sannsynligvis ha stor betydning for etterspørselen fram mot 2050. For eksempel kan man tenke seg at videre utbygging av fjernvarmenettet for oppvarming av nye bygg blir mindre aktuelt frem mot 2050 gitt at tiltakene for effektivisering lykkes. Videre vil utviklingen rundt distribuert energiproduksjon av både varme, kjøling og elektrisitet (pluss hus) med mulighet for å levere energi til nettet være viktig å ta hensyn til. Det anses imidlertid urealistisk å eliminere oppvarmingsbehovet i byggsektoren fullstendig. Eksisterende fjernvarmeinfrastruktur gir gode muligheter for distribusjon av overskuddsvarme fra for eksempel avfallsforbrenning og spillvarme fra industrien også i framtiden.

4.7.3.5 Vedfyring i husholdninger

Vedfyring er viktig som oppvarmingskilde i Norge. Ved er en fornybar energibærer, men forbrenning gir utslipp av klimagassen metan, den kortlevde klimadrivkraften sot (black carbon) og partikler. På grunn av helsekonsekvensene av partikkelutslipp er det innført støtteordninger for at gamle ovner skal byttes med nye, mer rentbrennende over, samt å gi informasjon om miljøvennlige fyringsmetoder. Dette er særlig viktig i byer og tettbygde strøk, der konsentrasjonen av partikler kan overstige luftkvalitetskriteriene. Utskifting av gamle ovner til nye ovner gir betydelig bedre utnyttelse av brenselet og dermed mindre vedforbruk og lavere utslipp, også av metan. De beste nye rentbrennende ovnene har en virkningsgrad på rundt 80 prosent, mens gamle ovner kan ha en virkningsgrad på 50 prosent (Enova, 2014).

I takt med bedre byggstandarder og lavere energibehov til oppvarming i bygningsmassen vil behovet for å fyre med ved også bli redusert. Vedfyring har på den annen side andre funksjoner enn ren oppvarming. Det er et vesentlig kulturelt aspekt i vedfyringstradisjonene, disse er assosiert med hygge og identitet. Et eksempel på dette er at boken "Hel ved" av Lars Mytting (utgitt 2011) ble en bestselger. Mange har også tilgang til ved fra egen tomt. Dette indikerer at vedfyring vil kunne ha et betydelig omfang også på lengre sikt. Dette tilsier et fortsatt fokus på rentbrennende ovner og rett fyringsteknikk. Overgang til pelletsovner vil også være fordelaktig ut fra lavere utslipp ved forbrenning.

4.7.3.6 Mulig med nullutslipp fra byggsektoren i 2050?

Det er vanskelig å se for seg en byggsektor helt uten klimagassutslipp, selv i et tidsperspektiv fram mot 2050. Utfasing av fossile energivarer til oppvarming vil kunne bli en realitet, og allerede i dag

er vi på god vei. I de tilfellene hvor de fossile energivarene byttes ut med bioenergi, det være seg ved, biogass eller bioolje, vil forbrenningen av disse energivarene resultere i noe utslipp av metan og lystgass. Effektiv forbrenning vil kunne minimere denne typen utslipp, men helt borte blir de neppe. I tillegg kommer vedfyring fra husholdninger. I hvilken grad man klarer å redusere disse utslippene avhenger av det samlede omfanget av bioenergibruk til oppvarming og teknologi på forbrenningsovnene. Det er behov for mer kunnskap om hvordan disse utslippene kan reduseres.

4.7.4 Tiltaksanalyse mot 2030

For å oppnå utslippsreduksjoner i byggsektoren er det to hovedtilnærminger:

1. Energieffektivisering
2. Konverteringstiltak

Byggsektoren er heldig stilt på den måten at det finnes relativt lett gjennomførbare tiltak som i sum nærmest eliminerer utslippene fra sektoren. Energieffektiviseringstiltak er i mange tilfeller lønnsomme, mens konverteringstiltakene i hovedsak er noe mer kostbare. Det er derfor i denne analysen lagt til grunn at energieffektiviseringstiltakene gjennomføres først, og at konverteringstiltakene gjennomføres på det energibehovet som gjenstår. Tabell 4-25 viser en oversikt over energieffektiviserings- og konverteringstiltakene som er vurdert i byggsektoren, med potensielle utslippsreduksjoner i 2030.

Tabell 4-25 Vurderte tiltak for 2025 og 2030 i byggsektoren.

Tiltak	Gjennomførbarhet		
Kostnad	Forholdsvis enkelt	Middels krevende	Krevende
Lav < 500 kr/tonn	1. Energieffektivisering, rehabilitering og nybygging, boliger (62 000 tonn CO₂-ekv.) 2. Energieffektivisering, rehabilitering og nybygging, næringsbygg (105 000 tonn CO₂-ekv.) 3. Konvertering fra oljekjel til elkjel, varmepumpe og/eller elektrisitet, boliger (12 000 tonn CO₂-ekv.) 4. Konvertering fra parafinovn til varmepumpe og/eller elektrisitet, boliger (5 000 tonn CO₂-ekv.) 5. Konvertering fra naturgass til biogass, boliger (2 000 tonn CO₂-ekv.) 6. Konvertering fra oljekjel til elkjel, fjernvarme, bioolje og/eller flis, næringsbygg (545 000 tonn CO₂-ekv.) 7. Konvertering fra naturgass til biogass, næringsbygg (149 000 tonn CO₂-ekv.)		
Medium 500–1500 kr/tonn		8. Konvertering fra annen fossil til elektrisitet og/eller bioenergi, boliger og næringsbygg (25 000 tonn CO₂-ekv.)	
Høy >1500 kr/tonn	9. Forsert utskifting av gamle vedovner med nye vedovner (16 000 tonn CO₂-ekv.)		

4.7.4.1 Energieffektiviseringstiltak

Energieffektiviseringstiltakene som danner grunnlaget for tiltaksanalysen er basert på tiltakene som ble utredet i Klimakur. Vurderingene i Klimakur hadde en tidsramme fram til 2020, og det er derfor gjort tilleggsvurderinger av hvordan utviklingen kan forløpe videre mot 2025 og 2030.

Energieffektiviseringstiltakene er delt mellom boliger og næringsbygg og mellom rehabiliteringer og nybygg. De vurderte tiltakene er presentert i Tabell 4-25.

De fire energieffektiviseringstiltakene i Tabell 4-25 er samletiltak bestående av følgende deltiltak (NVE, 2010b) for både boliger og næringsbygg:

- Innføring av Energioppfølgingssystem (EOS) som synliggjør detaljert energibruk i bygget (nybygg og rehabilitering) (for rehabilitering av boliger inneholder pakken også bedre fyringsteknikk i vedovner)
- Energistyring ved rehabilitering - automatisk behovsstyring av lys, varme og ventilasjon
- Isolering av vegger og tak, samt etterisolering, tetting og utskifting av vinduer (nybygg og rehabilitering)

Samlet kan de vurderte energieffektiviseringstiltakene gi en utslippsreduksjon på opptil 168 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030.

Vedfyring er som nevnt forventet å øke fram mot 2025 og 2030. Dette medfører at utslippene fra særlig metan, men også lystgass, fra vedfyring vil få en stadig økende andel av totalutslippene fra oppvarming av bygninger. Energieffektiviseringstiltakene vil medføre redusert behov for oppvarming generelt, og dette vil dempe behovet for vedfyring. Tilsvarende kan utskifting av gamle ovner til ovner med ny teknologi føre til at det er behov for reduserte vedmengder, og dermed reduserte utslipp, for å oppnå samme oppvarmende effekt. Dette vil også redusere utslippene av helseskadelige partikler og sot (black carbon). Tiltak som legger til rette for forsert utskifting av vedovner og bedre fyringsteknikk fra Miljødirektoratets tiltaksanalyse for kortlevde klimadrivere (Miljødirektoratet 2013) er inkludert i denne analysen.

4.7.4.2 Konverteringstiltak

Konverteringstiltakene som er vurdert for bygninger i denne analysen er hentet fra Klimakur, og vurdert i lys av det forlengede tidsperspektivet. Det er lagt til grunn at 90 prosent av den fossile energibruken er byttet ut med andre energivarer i 2025, og 95 prosent i 2030. Deretter er tiltak som omfatter de energivarene som i dag benyttes vurdert for boliger og næringsbygg. De vurderte tiltakene er presentert i Tabell 4-25. Samlet kan de vurderte konverteringstiltakene gi en utslippsreduksjon i byggsektoren på opptil 790 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2025 og 740 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Grunnen til at de potensielle utslippsreduksjonene er høyere i 2025 enn i 2030 er at framskrivningene inkluderer en generell utslippsreduksjon for denne femårsperioden.

For boliger er konvertering til varmepumper, elektrisitet, vedfyring og biogass aktuelle tiltak for å redusere bruken av fossile energivarer. I næringsbygg vil biogass kunne bli en betydelig ressurs for å erstatte dagens bruk av naturgass. Konvertering til flis, elkjeler, bioolje, varmepumper og fjernvarme er andre tiltak som er vurdert.

Mens det finnes relativt lett tilgjengelige teknologier for å konvertere grunnlast³⁴ fra fossilt til fornybart er topplasten en større utfordring, særlig i næringsbygg. I boligbygg er skillet mellom grunnlast/topplast ofte mindre tydelig men direkte elektrisk oppvarming eller vedfyring brukes gjerne som supplement til f.eks. varmepumper på de kaldeste dagene. Nye fornybare løsninger som varmepumper basert på luft, sjøvann eller grunnvarme, flis- og pelletskjel er typiske grunnlastkilder. De er kjennetegnet ved relativt høye investeringskostnader og lave driftskostnader.

³⁴ Grunnlast/topplast brukes for å beskrive forbruksprofilen i et oppvarmingssystem. Normalt kan store deler av oppvarmingsbehovet i et bygg dekkes ved lav og moderat effekt (grunnlast). Grunnlasten vil utgjøre størstedelen av energileveransen over et år fordi varigheten er lang. Topplast krever høy effekt men har kort varighet (de få kaldeste dagene i året) og utgjør en relativt liten energimengde over et år. Fordelingen mellom topplast/grunnlast for et bygg er en teknisk-økonomisk optimalisering som avgjøres særlig av lokalt klima og forbruksprofilen til bygget.

Det er mulig å dimensjonere slike anlegg for å dekke hele oppvarmingsbehovet, men det kan bli svært kostbart og gjøres sjelden. Slike anlegg suppleres normalt med en oppvarmingsløsning som kan levere høy effekt på de kaldeste dagene og som har lav investeringskostnad. I næringsbygg har olje- og gasskjeler tradisjonelt blitt brukt til dette. Kondenserende gasskjeler er et teknisk godt alternativ for topplasten. Selv om denne fyres med fossil gass vil den ha vesentlig lavere utslipp enn andre fossile kilder, og gi gode reguleringsmuligheter og svært høy virkningsgrad. Konvertering til gasskjeler med fossil gass er ikke vurdert kvantitativt i denne analysen.

Av fossilfrie løsninger for topplast i næringsbygg er elektrokjel eller annen direkte bruk av elektrisitet en mulighet. I tillegg kan bioolje og biogass brukes. I mange tilfeller kan en oljekjel konverteres til bioolje. Det er en billig løsning i forhold til alternativene, og vil driftsmessig kunne fungere godt. Den største driftsmessige utfordringen ligger i å sørge for tilstrekkelig temperatur på oljen så den ikke går over i fast form.

Solenergiløsninger på bygg utgjør et mulig alternativ som ikke er vurdert i denne analysen. I følge en gjennomgang fra 2011 (SINTEF & KanEnergi, 2011) antas 95 mill. m² av bygningsmassen å bli nybygd eller rehabilitert i perioden 2010-2020. Disse byggene anslås å ha en samlet takflate på 28 mil. m² og 10 mill. m² fasade tilgjengelig for plassering av solceller og solfangere. Dersom man forutsetter at 60 prosent av tappevannsbehov og 30 prosent av romoppvarmingsbehovet i disse byggene kan dekkes av solvarme gir det et teoretisk potensial på 1,6 TWh i form av varme fra solfangere som krever det et areal på 5,3 mill. m² (5,3 km²). Hvis resterende tilgjengelig areal brukes til solcellepanel anslår den samme studien et teoretisk potensial for levert solstrøm på 3,3 TWh per år. Nybygg og rehabiliterte bygg fra 2010 til 2020 anslås i denne studien å utgjøre rundt 26 prosent av bygningsmassen. Et teoretisk potensial for solceller som inkluderer eksisterende bygg vil derfor være betydelig større.

4.7.4.3 Mulige virkemidler

Utformingen av virkemidler rettet mot byggsektoren vil kunne utløse tiltak som både reduserer klimagassutslipp og gir energieffektivisering som frigjør energi for andre formål. Det viktigste virkemiddelet for å redusere energibruken og klimagassutslipp i nybygg er revisjoner av energikravene i byggeteknisk forskrift (TEK). Skjerpning av kravene i TEK til ikke-fossil energiforsyning og innskrenking av unntaksmulighetene vil være direkte rettet mot reduksjon av klimagassutslippene. På grunn av bygningers lange levetid tar det lang tid før forskriftsendringer får effekt på en betydelig del av bygningsmassen. Dermed er det, i et klimaperspektiv, hensiktsmessig å innføre innskjerpede energikrav i TEK så raskt som mulig.

Byggmeldingen (Meld. St. 28, 2011-2012) varslet komponentkrav i form av krav til energiytelse når enkeltkomponenter byttes ut i et bygg. Dette vil være en regulering som virker direkte i rehabiliteringsprosjekter.

Mens strengere byggtekniske forskrifter er et direkte virkemiddel for å få gjennomført energieffektiviseringstiltak, kan støtteordninger være hensiktsmessig for tiltak rettet mot eksisterende bygningsmasse. Støtteordningene fra Enova kan videreføres, med støtte til både boliger og næringsbygg. Regjeringen varslet gjennom regjeringsplattformen en mulig innføring av en ordning med skattefradrag for enøktiltak i husholdningene. Tilrettelegging for plussbus, for eksempel gjennom plusskundeordningen (se faktaboks om virkemidler), vil kunne redusere samlet energiforbruk ytterligere.

4.7.5 Mulige utslippsnivåer

Byggsektoren kan i framtiden være tilnærmet fossilfri og med reduserte metan- og lystgassutslipp fra forbrenning av bioenergivarer. Miljødirektoratets analyse (Miljødirektoratet, 2014b) av potensialet for å redusere klimagassutslipp innen 2020 viser at mye av jobben med å fase ut de fossile brenslene kan gjøres i løpet av relativt kort tid. Mange av tiltakene er lett gjennomførbare i den forstand at teknologien er til stede og det finnes allerede virkemidler i form av forskrifter (TEK) og støtteordninger. Kostnadsnivået er imidlertid varierende mellom tiltakene. Tabell 4-26 viser en samlet oversikt over potensiale for utslippsreduksjoner for ulike tiltakspakker. Disse pakkene er satt sammen basert på kostnad og gjennomførbarhet.

Årsaken til at alle utslippene i framskrivingene ikke er fjernet er at vedfyringsutslippene bare delvis fjernes og at det er lagt til grunn en liten andel fossile energivarer også i 2025 og 2030. Framskrivningene legger til grunn at utslippene uten ytterligere tiltak og virkemidler er lavere i 2030 enn i 2025, og dette er årsaken til at de vurderte tiltakene samlet gir mindre utslippsreduksjoner i 2030.

Tabell 4-26 Potensielle utslippsreduksjoner i 2025 og 2030 ved ulike kostnads- og gjennomførbarhetsvurderinger.

Kostnader og gjennomførbarhet for tiltak i byggsektoren				
			Utslipp 2025 [1 000 tonn]	Utslipp 2030 [1 000 tonn]
Referansebane			1 300	1 200
	Kostnader	Gjennomførbarhet	Utslippsreduksjoner 2025 [1 000 tonn]	Utslippsreduksjoner 2030 [1 000 tonn]
Tiltakspakke 1	< 500 kr/tonn	Forholdsvis enkelt	720	880
Tiltakspakke 2	< 1500 kr/tonn	Forholdsvis enkelt eller middels krevende	950	900
Tiltakspakke 3	Alle	Alle	970	920

4.7.5.1 Energikonsekvenser av endringer i byggsektoren

Som følge av tiltak for å redusere klimagassutslippene vil det bli endringer i hvilke energivarer som benyttes i byggsektoren. Energieffektiviseringstiltakene vil redusere det samlede energibehovet, og konverteringstiltakene vil redusere energietterspørselen etter fossile kilder og øke etterspørsel etter bioenergi og elektrisitet. Dersom vi kun ser på effektiviseringstiltakene utgjør de om lag 6,4 TWh elektrisitet i 2030.

Energieffektiviseringstiltak vil etter alt å dømme ha et potensial utover det som er diskutert her, hvor fokuset har vært på utslippsreduksjoner. Tidligere publiserte studier har imidlertid stor variasjon i estimater på potensial for effektivisering. Basert på publiserte studier omtalt ovenfor og dagens bruk av elektrisitet i byggsektoren kan et ytterlig teoretisk potensial for effektiviseringen av elektrisitet ligge et sted mellom 2 og 13 TWh mot 2030.

Konverteringstiltakene som er analysert i dette kapittelet vil kunne gi et økt behov for elektrisitet (sammenlignet med dagens nivå) på i størrelsesorden 0,8 TWh og et økt behov for bioenergi på omtrent 1,4 TWh.

4.7.5.2 Kostnader

I Tabell 4-26 er det vist størsteparten av tiltakene kan gjennomføres med en kostnad på under 500 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter utslippsreduksjon.

4.7.5.3 Øvrige konsekvenser

Både for nybygg og for rehabilitering av eksisterende bygg vil de nye kravene kunne påvirke etterspørsel etter forskjellige typer bygningsmaterialer. Tre er ansett som et miljøvennlig materiale og stående tremasse i bygninger og andre trekonstruksjoner innebærer karbonlagring. Produksjon av trevirke har noe klimagassutslipp i forbindelse med skogsdrift og treforedlingsprosessen, men utslippene er lavere enn ved produksjon av sement og stål. I et «vugge-til grav»-perspektiv må utslippene ved produksjon og skroting av materialer vurderes. Når energibruk ved bruk av bygningene går ned, blir energibruk og utslipp i produksjons- og avhendingsfasen relativt viktigere.

Økt bruk av trematerialer i bygningskonstruksjoner påvirker imidlertid etterspørselen etter trevirke fra skogen, og denne etterspørselen må sees i sammenheng med behovene for trevirke til andre formål.

4.7.6 Oppsummering

Utslipp av klimagasser fra byggsektoren kan reduseres med om lag 900 000 tonn CO₂-ekvivalenter i 2030 dersom alle tiltakene settes i verk. I hovedsak har alle tiltakene, slik de er definert i denne analysen, lave kostnader. Vi anser også at både virkemidler og teknologi er tilgjengelige og at tiltakene derfor kan defineres som forholdsvis enkle å gjennomføre. I 2012 utgjorde Byggsektorens utslipp av klimagasser 1,45 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Det er forventet at utslippene fra sektoren vil reduseres med 17 prosent fram mot 2030 som følge av allerede iverksatte tiltak. Dette innebærer at byggsektoren fram mot 2030 kan stå med et samlet utslipp på om lag 400 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

Det viktigste virkemiddelet for å redusere energibruken og klimagassutslipp i nybygg er energikravene i byggeteknisk forskrift. Dersom dagens virkemidler for reduksjon av energibruk i nybygg videreføres og forsterkes, slik det er politiske føringer for, er det mulig med nybygg som er tilnærmet uten klimagassutslipp i driftsfasen i 2050.

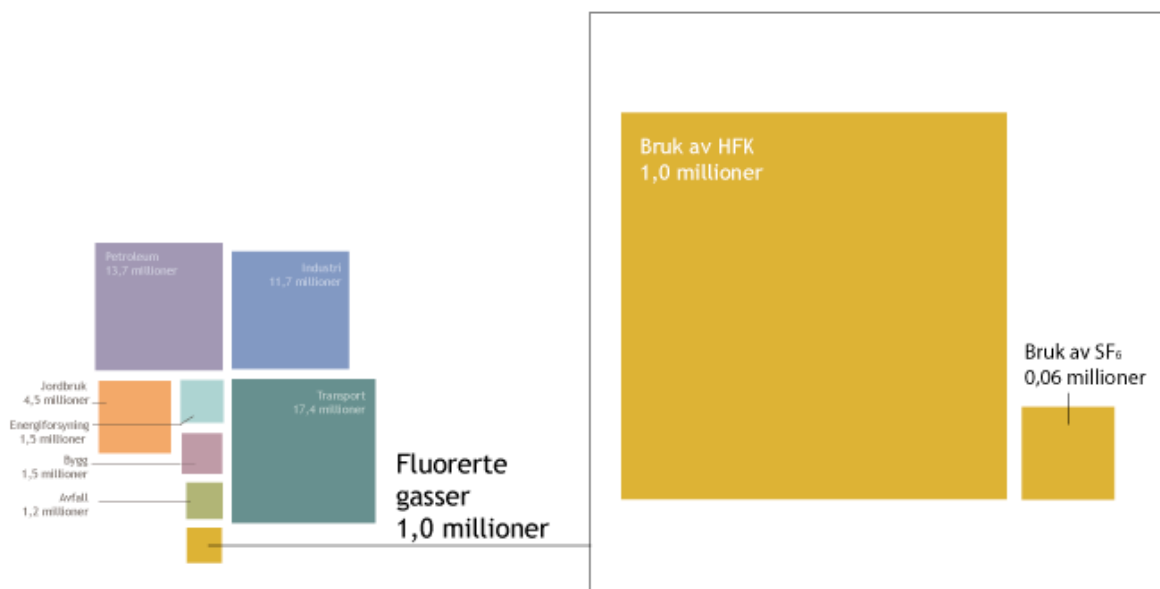
I hvilken grad utslippene fra oppvarming av eksisterende bygningsmasse kan reduseres til null i 2050 avhenger i stor grad av hvilke energibærere som erstatter dagens oljefyring. Aktuelle erstatninger er særlig varmepumper for husholdningene og flis/pelletsanlegg for yrkesbygg. De som har mulighet til å knytte seg til fjernvarme vil trolig gjøre det. Potensialet for energieffektivisering i eksisterende bygg er stort, men det kreves trolig ytterligere virkemiddelbruk, slik som avgifter eller støtteordninger rettet mot å utløse energisparende tiltak for å utløse potensialet.

Det er vanskelig å se for seg en byggsektor helt uten klimagassutslipp, selv i et tidsperspektiv fram mot 2050. I de tilfellene hvor de fossile energivarene byttes ut med bioenergi vil forbrenningen resultere i utslipp av metan og lystgass. Effektiv forbrenning vil kunne minimere denne typen utslipp, men helt borte blir de neppe. I tillegg kommer vedfyring fra husholdninger som vi antar vil benyttes i et visst omfang også i 2050

4.8 Fluorerte gasser i produkter

Utslipp av fluorerte gasser i produkter i 2012

Utslipp til luft (tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 4-53: Utslipp knyttet til bruk av fluorerte gasser i 2012.

4.8.1 Innledning

Dette kapittelet omhandler gassene HFKer, PFKer og SF₆ brukt i produkter. Innledningsvis gjør vi rede for avgrensninger og metodikk. Deretter beskrives utslippene av fluorerte gasser slik de er i dag, hvordan utslippsutviklingen har vært siden 1990 og hvordan utslippsutviklingen forventes å bli fram mot 2050 basert på framskrivninger med dagens tiltak og virkemidler. Endelig diskuterer vi muligheten for å tilnærmet eliminere klimagassutslippene fra sektoren, samt tiltak for å redusere utslippene fram mot 2025 og 2030.

HFK-, PFK- og SF₆-gasser er sterke syntetiske klimagasser som anvendes som blant annet erstatningsstoffer for forbudte ozonreduserende stoffer. Det desidert viktigste anvendelsesområdet i Norge i dag er bruk av HFKer som kuldemedium i kuldetekniske produkter som kjøleanlegg, varmepumper og luftkondisjoneringsanlegg. I tillegg har vi en del bruk av SF₆ i høyspentbransjen. Andre anvendelsesområder og bruk av PFKer har liten betydning i dag, og antas å få enda mindre betydning i tida framover. Denne analysen vil derfor fokusere på bruk av HFK i kuldetekniske produkter, samt berøre bruk av SF₆ i høyspentbransjen.

Miljødirektorats utarbeidelse av Handlingsplan for kortlevde klimadrivere (Miljødirektoratet, 2013a) inkluderte en sektoranalyse for HFK i produkter. Analysen for kortlevde klimadrivere fokuserte på et tiårs perspektiv (Metric GTP, 10 år), men dataene herfra kan omregnes til å gi anslag som kan brukes i denne analysen. Vi har derfor her tatt utgangspunkt i tiltakene "Utslippsreduksjoner av HFK fra lekkasjekontroll og oppsamling" og "Utslippsreduksjoner ved å benytte HFK med lavere vektfaktor og løsninger med lite fyllingsbehov" fra analysen for kortlevde klimadrivere og tilpasset disse ved å endre til GWP 100 år.

Oppsummert har vi altså for 2030 oppdatert to tiltak fra en tidligere analyse og kvantifisert utslippsreduksjoner og kostnadseffektivitet. Det er imidlertid viktig å bemerke at den samlede effekten av revidert EU-forordning trolig vil bli større enn den samlede effekten av disse tiltakene. Det er imidlertid ikke mulig å kvantifisere eller si noe sikkert om dette før det er bestemt hvordan den nye EU-forordningen vil implementeres i Norge.

Dette er en sektor med relativt rask teknisk og politisk utvikling, så for 2050 har vi kun gitt en verbal beskrivelse av hvordan vi tror situasjonen vil bli.

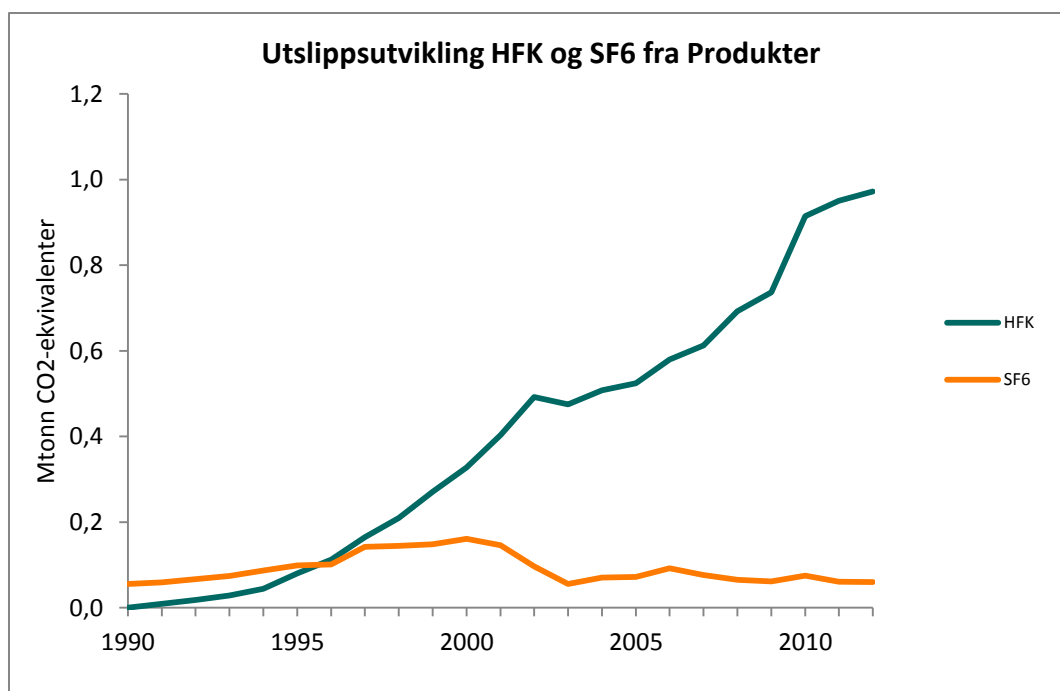
4.8.2 Utslipp og framskrivinger

Utslipp av fluoreerte gasser fra produkter var i 2012 på 1,0 millioner CO₂-ekvivalenter. Figur 4-53 viser utslippene fordelt på gasser.

Bruken av HFKer som kuldemedium har økt sterkt på grunn av at de benyttes som erstatningsmedium for ozonnedbrytende KFKer og HKFKer som er faset ut gjennom Montrealprotokollen. Norge har ført en aktiv politikk på området og har på grunn av avgiftsbelegging, refusjonsordning for brukt gass og implementering av EU-forordning på f-gasser hatt en relativt moderat økning i utslippene. Ny bruk av HFK er i dag i hovedsak begrenset til større anlegg hvor det ikke finnes gode alternativer, samt importert masseprodusert utstyr som for eksempel små varmepumper og luftkondisjonerte kjøretøy.

De viktigste kravene i gjeldende EU-forordning ((EU) nr. 842/2006) er knyttet til kompetanse hos montører og lekkasjetesting, samt at det er innført enkelte forbud. Dette skjerpes i revidert forordning ((EU) nr. 517/2014). I tillegg innføres det et nedfasingsregime for HFK som innebærer at markedstilgangen på HFK i EU reduseres med 79 prosent fra gjennomsnittet for perioden 2009-12 til 2030. Dette vil medføre store reduksjoner i utslippene på EU-nivå. Norge har ikke ferdigforhandlet tilpasningen til den nye forordningen, så det er vanskelig å tallfeste hvilke konsekvenser dette vil ha for Norge. Generelt er imidlertid Norges ambisjonsnivå på dette feltet minst på linje med EU, så det er rimelig å anta at nedfasingen også vil få store konsekvenser for Norge.

Utslippene av HFKer har økt jevnt siden de ble faset inn som erstatningsstoffer for KFKer og senere HKFKer (Figur 4-53). Veksten har imidlertid vært mindre dramatisk enn hva man hadde kunnet forvente dersom man ikke hadde innført avgift i 2003. For SF₆ fikk man en betydelig nedgang i utslippene etter at man fikk en bransjeavtale i 2002.



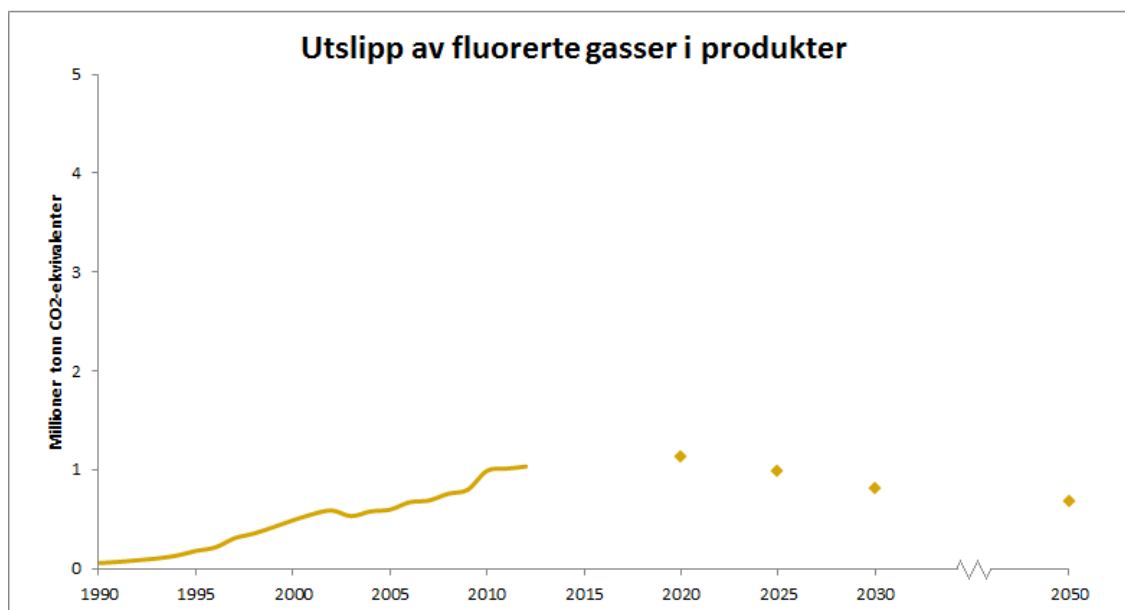
Figur 4-54: Utslippsutvikling for HFKer og SF₆. (Kilde: Miljødirektoratet)

Den største kilden til utslipp av HFK er ulike typer kjøleutstyr. En annen stor og økende kilde er luftkondisjonering i bygninger (inkl. varmepumper) og i kjøretøy. Andre kilder utgjør en relativt liten og minkende andel, blant annet fordi dette regulertes relativt strengt gjennom EU-forordningene. For SF₆ er den helt dominerende kilden høyspentbransjen, som blant annet bruker denne gassen som isolator i høyspentbrytere.

Framskrivningen i perspektivmeldingen 2013 inkluderer effekten av gjeldende forordning (Tabell 4-27/Tabell 4-28). Ingen av de nevnte framskrivingene inkluderer den reviderte F-gass-forordningen. Denne forventes som sagt å gi store, men foreløpig ikke-kvantifiserbare, reduksjoner ut over de eksisterende framskrivingene.

Tabell 4-27 Framskrivning av utslipp F-gasser fra produkter (1 000 tonn CO₂-ekvivalenter) Kilde: PM2013

Framskrivning i 1 000 tonn CO ₂ -ekvivalenter			
	2012	2020	2030
HFKer	972	1 059	722
SF ₆	61	74	82



Figur 4-55: Utslippsutvikling (1990–2012) og framskrivninger (2020–2050) for fluorerte gasser i produkter.

4.8.3 Bruk av fluorerte gasser i et lavutslippssamfunn

For de aller fleste anvendelsesområder finnes det alternativer til tradisjonelle HFKer med ingen eller meget liten klimaeffekt. Årsaken til at disse ikke brukes i større grad i dag er i første rekke knyttet til økte utstyrskostnader og begrenset kommersialisering på grunn av manglende incentiver i Europa og globalt. Den reviderte EU-forordningen medfører restriksjoner på visse typer bruk av HFKer, samt nedfasing av tilgangen på HFK. Det antas at dette innen få år vil bidra til at mer HFK-fritt utstyr også vil bli tilgjengelig i Norge.

EUs nedfasingplan går til 2030, hvor bruken av ny HFK skal være redusert til mindre enn 1/4. Sammen med bruksbegrensningen vil dette gi et sterkt incentiv til å utvikle HFK-fritt kjøleutstyr. Dersom man også antar at Norge følger EUs politiske linje, er det rimelig å anta at utslippene av HFK fra kjøleanlegg vil være betydelig redusert i 2030, og at de resterende utslippene da i hovedsak vil komme fra eldre anlegg, samt eventuelt noen spesialanvendelser og utstyr som bruker HFKer med svært lav GWP. Med en antatt levetid på 10-20 år for de fleste anlegg og ytterligere regulering og teknologisk utvikling er det rimelig å anta at utslippene av HFKer fra kjøleutstyr og varmepumper kan være tilnærmet null innen 2050.

For luftkondisjonering i kjøretøy er det innført et EU-direktiv (2006/40/EC) som setter strenge GWP-begrensninger på HFK brukt i nye bilmodeller. Innen 2050 antas dette å ha gitt tilnærmet full effekt, samt at det trolig er iverksatt ytterligere virkemidler innen den tid.

Sammenlignet med bruk i kjøleutstyr er annen bruk av HFK relativt liten i Norge. Anvendelsesområder som skumblåsing, brannslukking og aerosoler er også regulert gjennom EU-forordningen og man kan også her forvente en lignende utvikling som i kuldebransjen.

Bruken av SF₆ i høyspentbrytere og annen kraftelektronikk er i dag økende, mens utslippene har gått ned og siden holdt seg relativt stabile på grunn av lavere lekkasjerater. Planlagte moderniseringer og utvidelser av strømmettet kan medføre stor økning i bruken av SF₆ til dette formålet. Slikt utstyr har svært lang levetid, så man kan få en betydelig mengde gass i brytere i bruk med potensiale for regulære lekkasjer og uhellsutslipp også i 2050. På dette feltet har det vist seg vanskeligere å finne alternativer som tilfredsstiller alle ønskene fra brukerne, så mye av utviklingen vil avhenge av hvordan dette reguleres framover.

Globalt er det betydelig bruk av f-gasser i elektronikkproduksjon, og det introduseres stadig "nye" gasser på dette feltet. Dette er ikke noen stor kilde i Norge i dag, men det illustrerer viktigheten av å følge med på utviklingen på andre sektorer og gasser dersom man skal oppnå tilnærmet nullutslipp innen 2050.

4.8.4 Tiltaksanalyse mot 2030

De eksisterende framskrivingene viser at gjeldende EU-forordning alene vil gi en utflating rundt 2020 og seinere nedgang. Denne trenden vil forsterkes betydelig av nye krav i kommende revidert forordning, men det er foreløpig ikke mulig å kvantifisere dette fordi det fortsatt er uavklart hvordan nedfasingregimet for HFK vil implementeres i Norge.

I handlingsplan for kortlevde klimadrivere ble følgende innbyrdes uavhengige tiltak analysert med basis i at eksisterende forordning gjelder:

1. Utslippsreduksjoner av HFK fra lekkasjekontroll og oppsamling
2. Utslippsreduksjoner ved å benytte HFK med lavere vektfaktor og løsninger med lite fyllingsbehov

Det første tiltaket fokuserer på at eksisterende forordning følges opp med effektiv myndighetskontroll av at anleggseiere utfører obligatoriske lekkasjekontroller og at brukt kuldemedier samles inn. Dette tiltaket er altså knyttet til den praktiske oppfølgingen av virkemiddelet eksisterende EU-forordning.

Det andre tiltaket omfatter reduksjon av utslipp og av klimaeffekten av utslippene ved bruk av kommersielt tilgjengelige tekniske løsninger som krever liten fylling og/eller kuldemedier med liten klimaeffekt. Det eksisterende virkemiddelet, avgift på HFK, gir incentiver til å gjennomføre dette tiltaket. Ytterligere virkemidler kan for eksempel være infokampanjer og økt bevisstgjøring. Den kommende forordningen vil også medføre økt fokus på dette tiltaket - dels fordi nye forbud vil framtinge en tilsvarende omlegging, og dels fordi nedfasing av tilgang på HFK vil gjøre det økonomisk attraktivt å gjennomføre tiltaket.

Analysen i handlingsplanen for kortlevde klimadrivere var basert på et tiårs perspektiv (Metric GTP, 10 år), men dataene herfra kan omregnes til å gi anslag som kan brukes i denne analysen ved å endre dette til GWP 100 år.

Ved å ta utgangspunkt i handlingsplan for kortlevde klimadrivere (Miljødirektoratet 2013) får man da:

Tiltak 1 (lekkasjekontroll og oppsamling)

Samlet utslippsreduksjon fra 2014-30 (16 år) blir 3,1 mill. tonn CO₂-ekvivalenter, eller 0,19 mill. tonn CO₂-ekvivalenter pr. år i gjennomsnitt (Tabell 4-28). Kostnadsbrøken blir 392 kr/tonn CO₂-ekvivalenter (Tabell 4-29).

Tiltak 2 (HFK med lavere vektfaktor og lite fyllingsbehov)

Samlet utslippsreduksjon fra 2014-30 (16 år) blir 1,52 mill. tonn CO₂-ekvivalenter, eller 0,095 mill. tonn CO₂-ekvivalenter pr. år i gjennomsnitt (Tabell 4-30). Kostnadsbrøken blir 392 kr/tonn CO₂-ekvivalenter (Tabell 4-31).

Tabell 4-28: Utslippsreduksjoner av HFK fra kuldeanlegg ved lekkasjekontroll og oppsamling, 2014-2030

Kjemikalium	Utslippsreduksjon, tonn	GWP 100	Samlet utslippsreduksjon, Tonn CO ₂ -ekv. (GWP 100)
HFK-125	440	2 800	1 232 000
HFK-134a	529	1 300	687 700
HFK-143a	270	3 800	1 026 000
HFK-32	205	650	133 250
Sum 2014-30	1444		3 078 950

Tabell 4-29 Kostnader ved lekkasjekontroll og oppsamling

Nåverdi, mill. kr.	1208
Årlig kostnad, mill. kr/år	71,1
Kostnadsbrøk, kr/tonn CO ₂ -ekvivalenter	392

Tabell 4-30 Utslippsreduksjoner ved å benytte HFK med lavere vektfaktor og løsninger med lite fyllingsbehov, 2014-2030

Kjemikalium	Utslippsreduksjon, tonn	GWP 100	Samlet utslippsreduksjon, Tonn tCO ₂ -ekv. (GWP 100)
HFK-125	307	2 800	859 600
HFK-134a	-369	1 300	-479 700
HFK-143a	288	3 800	1 094 400
HFK-32	70	650	45 500
Sum 2014-30	296		1 519 800

Tabell 4-31: Kostnader ved å benytte HFK med lavere vektfaktor og redusere fyllingsbehovet

Nåverdi, mill. kr.	835
Årlig kostnad, mill. kr/år	49,1
Kostnadsbrøk, kr/tonn CO ₂ -ekvivalenter	549

Mye tilsier at den kommende forordningen vil bli et såpass sterkt virkemiddel at reduksjonene i praksis vil bli **større** enn det som følger av de to tiltakene slik disse er utredet.

Kommende virkemidler vil altså trolig være mer enn tilstrekkelig for å utløse tiltakene og det anses som lite relevant å utrede andre virkemidler.

Tabell 4-32: Oppsummering av tiltak

Kostnad	Gjennomførbarhet		
	Forholdsvis enkelt	Middels krevende	Krevende
Lav < 500 kr/tonn	Lekkasjekontroll og oppsamling (0,19 mill. tonn CO ₂ -ekv.)		
Medium 500-1500 kr/tonn	Benyttelse av HFK med lavere vektfaktor og løsninger med lavt fyllingsbehov. (0,095 millioner tonn CO ₂ -ekv.)		
Høy >1500 kr/tonn			

4.8.5 Oppsummering

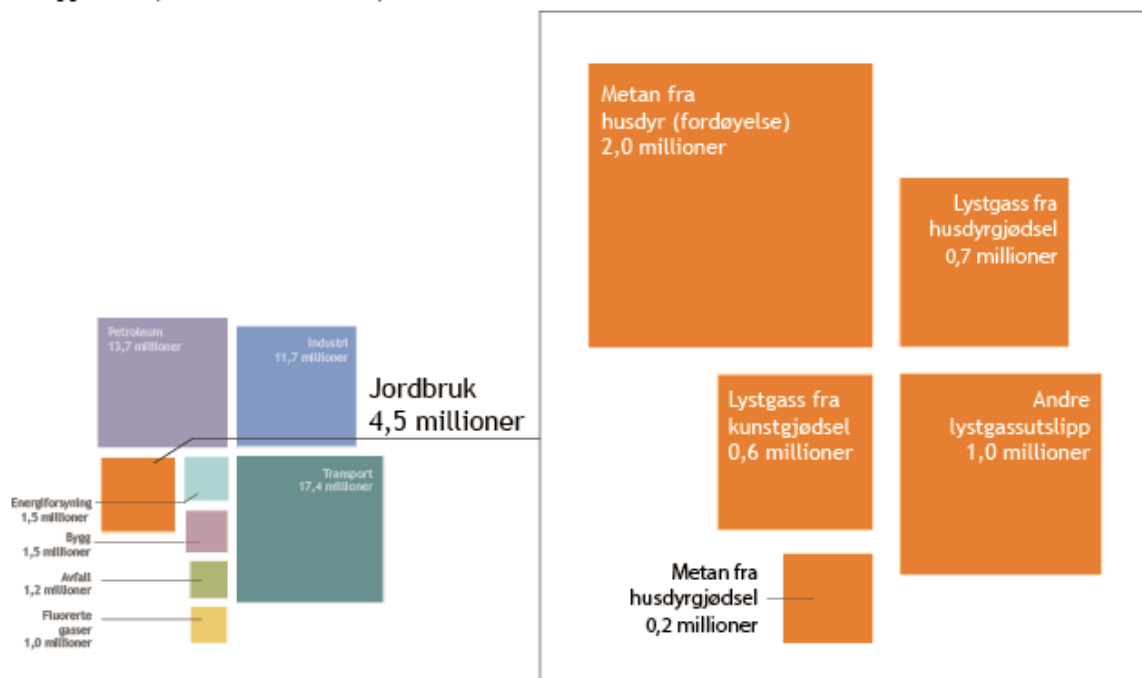
Utslippene fra sektoren domineres av HFK-utslipp fra kuldeteknisk utstyr. Her forventes utslippene å øke fram til omtrent 2020, men vil deretter avta som følge av teknologisk utvikling og regulering. En analyse indikerer at utslippene kan reduseres med ytterligere i gjennomsnitt 0,27 mill. tonn/CO₂-ekvivalenter per år fram mot 2030 dersom tiltak rettet mot lekkasjekontroll/opsamling og bruk av HFK med lav vektfaktor /reduisert fyllingsbehov for kuldemedium iverksettes. Denne analysen ser imidlertid bort fra kommende revidert f-gass-forordning, som trolig vil gi utslippsreduksjoner som er større enn dette. I 2050 forventes utslippene fra denne type anlegg å være svært lave på grunn av teknologisk og regulativ utvikling både nasjonalt og internasjonalt.

Utslipp av SF₆ fra høyspentanlegg utgjør omtrent 6 prosent av norske utslipp av f-gasser fra produkter. Her er det mulighet for en viss økning i regulære utslipp på grunn av økt bruk av slikt utstyr, samt potensial for betydelige uhellsutslipp dersom ekstraordinære situasjoner skulle oppstå i framtiden.

4.9 Jordbruk

Utslipp av klimagasser fra jordbrukssektoren i 2012

Utslipp til luft (tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 4-56 Utslipp fra jordbruket i 2012.

4.9.1 Innledning

Dette kapittelet omhandler jordbrukssektorens rolle på veien mot lavutslippssamfunnet. Innledningsvis gjør vi rede for avgrensninger til andre sektorer, metodikk og prosess. Deretter beskrives utslippene fra sektoren slik de er i dag, hvordan utslippsutviklingen har vært siden 1990 og hvordan utslippsutviklingen forventes å bli fram mot 2050 basert på framskrivninger for sektoren med dagens tiltak og virkemidler. Videre beskriver vi hvilke utfordringer som er spesielle for denne sektoren og hvordan jordbruket kan se ut i lavutslippssamfunnet i 2050. Vi vil deretter peke på hvilke tiltak som kan gjennomføres på kort sikt, frem mot 2025 og 2030, for å ta oss dit vi ønsker å være på lengre sikt (i 2050). Tiltakene som kan bidra til utslippsreduksjoner i 2025 og 2030 blir fremstilt i tiltakspakker med ulike kostnadsnivåer og gjennomførbarhet.

I beskrivelsen av utslipp fra jordbrukssektoren omtales først og fremst utslipp av metan- og lystgass fra fôr- og husdyrproduksjon. Jordbrukssektoren har i tillegg utslipp av CO₂ på grunn av nedbrytning og tap av karbon fra jord på dyrket areal, og CO₂ omtales derfor også der det er aktuelt. I kapittelet om lavutslippssamfunnet og i omtalen av tiltak bruker vi utslipp inkludert endringer i CO₂. Utslippene fra oppvarming av driftsbygninger og landbruksmaskiner i jordbruket er imidlertid ikke inkludert i dette kapittelet, men omtales i henholdsvis byggkapittelet (kapittel 4.7) og transportkapittelet (kapittel 4.4).

Ved beskrivelsen av tiltak og virkemidler er sektoren naturlig knyttet opp mot andre sektorer som skog og landarealer (kapittel 4.10) og avfall (kapittel 4.5).

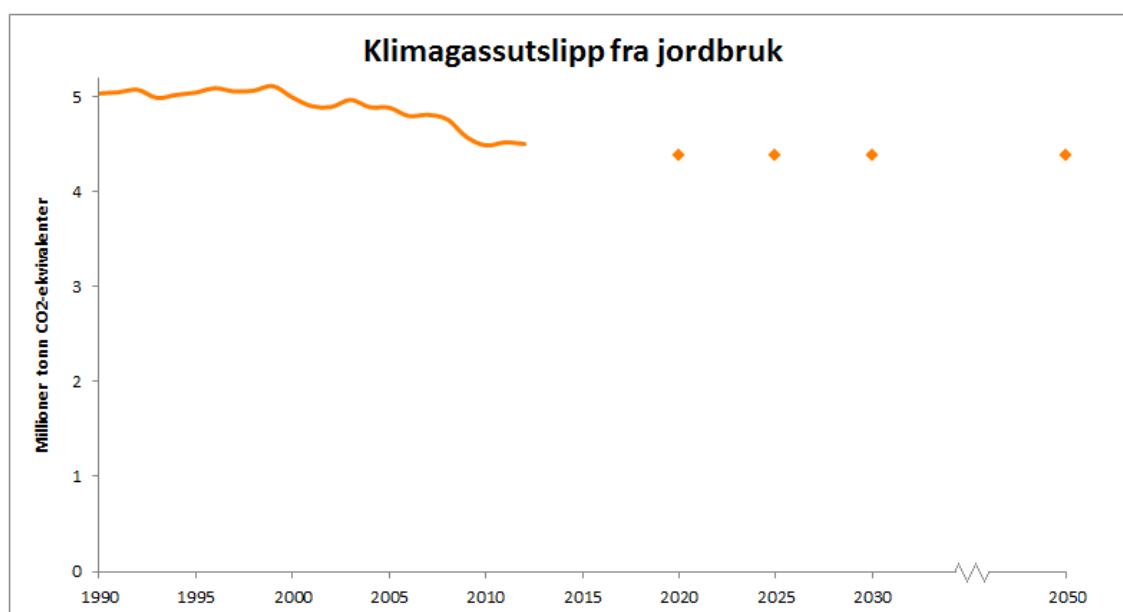
For å beregne hvilket utslippsnivå jordbruket har i lavutslippssamfunnet i 2050 har vi benyttet oss av et beregningsverktøy som er utviklet av Bioforsk. Dette verktøyet muliggjør modellberegninger av hvilke effekter alternative endringer i jordbruksareal, produksjoner, forbruk og intensiteter har på klimagassutslippene. Alle beregningene av utslippsreduksjoner på kort sikt og av lavutslippssamfunnet er gjort med beregningsverktøyet til Bioforsk, men alle forutsetningene som er lagt til grunn for beregningene er gitt av Miljødirektoratet.

4.9.2 Utslipp og framskrivinger

4.9.2.1 Beskrivelse av utslippskilder i jordbruket

Utslippene i jordbrukssektoren er først og fremst i form av metan (CH_4) og lystgass (N_2O) og jordbruket er den viktigste kilden til utslipp av disse gassene i Norge. Jordbrukets utslipp av metan og lystgass var i 2012 på 4,5 millioner tonn CO_2 -ekvivalenter, noe som utgjorde i overkant av 8 prosent av de samlede norske klimagassutslippene. Figur 4-56 viser prosentvis fordeling av utslipp av klimagasser i jordbrukssektoren i 2012 fordelt på ulike kilder. Om lag 90 prosent av utslippene av klimagasser fra jordbruket er knyttet til fôr og husdyrproduksjon. Det aller meste av metanutslippene kommer fra fordøyelse av fôr hos husdyr, mens en mindre del kommer fra lagring av husdyrgjødsel. Lystgassutslipp kommer fra lagring av husdyrgjødsel og bruk av husdyr- og kunstgjødsel. Til sammen utgjør utslipp fra gjødsel (både metan og lystgass) 33 prosent av de totale utslippene fra jordbruket. Lystgassutslipp fra kategorien "Jordbruk, annet" er først og fremst forårsaket av nitrogenavrenning og dyrking av myr.

Historisk sett har det vært en reduksjon i klimagassutslipp fra jordbruket på 10,3 prosent fra 1990 til 2012. Nedgangen i lystgassutslipp skyldes blant annet mindre bruk av mineralgjødselnitrogen, og nedgangen i metanutslipp fra kuenes fordøyelse skyldes blant annet en høyere kraftfôrandel sammen med høyere ytelse i melkeproduksjonen. Virkemidler i jordbrukssektoren (se faktaboks) har hittil hatt liten effekt på klimagassutslippene fordi de først og fremst har vært rettet mot å redusere forurensing/avrenning til vassdrag, og ikke vært innført med hensyn på klima. På grunn av få krav til rapportering er det også vanskelig å beregne effekten på klimagasser som følge av innføring av virkemidler i jordbruket.



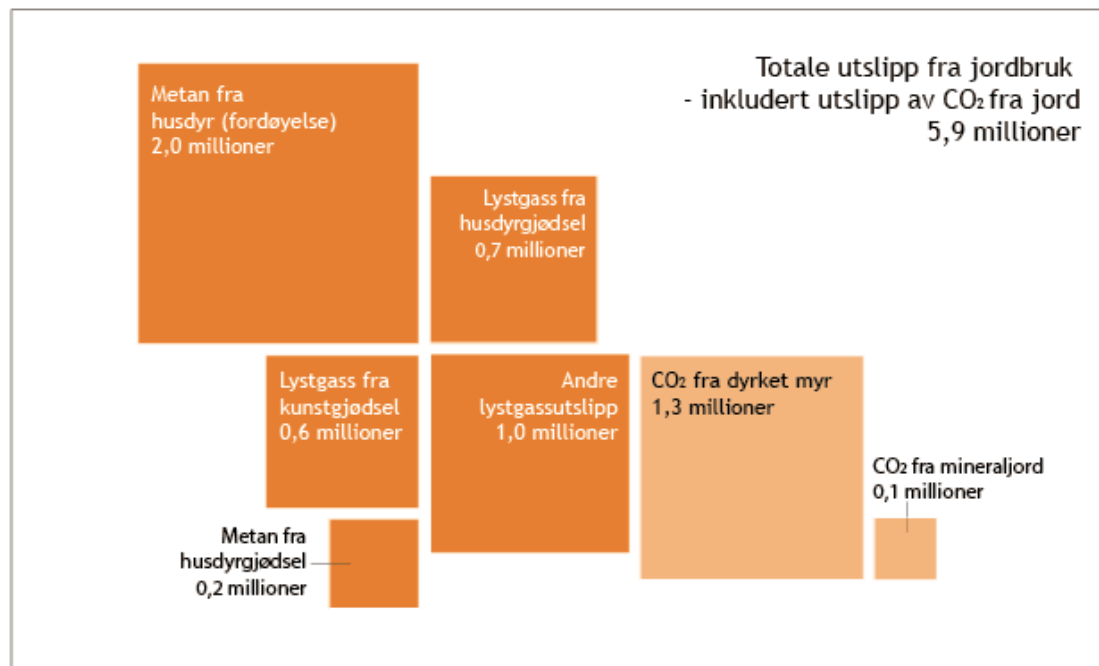
Figur 4-57 Utslippsutvikling (1990–2012) og framskrivinger (2020–2050) for jordbruket.

Klimagassutslipp fra jordbruket er omfattet av Norges forpliktelse under Kyotoprotokollen. Utslippene er først og fremst i form av metan og lystgass, men jordbruket har også utslipp av CO₂ på grunn av nedbrytning og tap av karbon fra jord på dyrket areal. I utslippsregnskapet rapporteres dette under sektoren for arealbruk, arealbruksendringer og skog (LULUCF). Mesteparten av CO₂-utslippene skyldes dyrket myr og mineraljord som følge av drenering, økt lufttilgang og rask nedbrytning av organisk materiale som er bygd opp i løpet av lang tid. Bioforsk har beregnet CO₂-utslippene fra dyrket myr og mineraljord til å være henholdsvis 1,3 millioner tonn og 149 000 tonn CO₂ i 2012.

Dersom en legger Bioforsk sine beregninger til grunn, og utslipp fra karbon i jord tas med i beregningene, utgjør det totale klimagassutslippet fra jordbruket ca. 5,9 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012 (Figur 4-58). Vi har valgt å inkludere CO₂-utslipp som en del av tiltakene som er beskrevet for jordbrukssektoren for å vurdere helheten i et tiltak, selv om det ikke er slik det føres i utslippsregnskapet.

Utslipp fra jordbrukssektoren i 2012 - inkludert CO₂

Utslipp til luft (tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 4-58 Utslipp fra jordbruket i 2012 også inkludert utslipp av CO₂ fra jord.

Virkemidler i jordbruket

Reguleringen av jordbrukssektoren er i liten grad rettet mot reduksjon av klimagassutslipp. Tiltak mot utslipp vil kunne komme i strid med andre målsettinger i jordbruket fordi utslippstiltak kan påvirke produksjonen. For å nå jordbrukspolitiske mål er det innført en rekke virkemidler. Noen av disse påvirker også utslippene av klimagasser.

De viktigste økonomiske virkemidlene i jordbrukssektoren fastlegges gjennom jordbruksoppgjøret. De økonomiske overføringene har stor betydning for produksjonsvolum, produksjonsfordeling, struktur og driftsmåter i jordbruksnæringen.

Økonomisk støtte gjennom Klima- og miljøprogrammet forvaltes av Landbruksdirektoratet (tidligere Statens Landbruksforvaltning (SLF)). Hovedmålet for Klima- og miljøprogrammet er å øke kompetansen om utslipp av klimagasser fra jordbruket og om effekter av mulige reduksjonstiltak. Programmet legger også til rette for gjennomføring og synliggjøring av effektive tiltak for utslippsreduksjoner. Det gis tilskudd til kunnskapsutvikling, utredninger og informasjonstiltak som kan medvirke til å løse jordbrukets klima- og miljøutfordringer. Programmet er en videreføring av Klimaprogrammet (2008 - 2012).

Jordbrukets utslipp av metan og lystgass er ikke med i kvotesystemet, og det er heller ikke pålagt CO₂-avgift på disse utslippene. Dette kommer i hovedsak av at det er vanskelig å bestemme fordelingen av utslippene fra jordbruket som er spredt over et stort antall enheter med stor usikkerhet i utslippsfaktorene spesielt for lystgass fra jord og myr.

Eksempler på konkrete virkemidler

Det gis tilskudd i enkelte fylker for miljøvennlige spredemetoder og -tidspunkt for husdyrgjødsel. Det vil kunne bidra til å redusere tapet av nitrogen fra husdyrgjødsel, og dermed redusere den totale bruken av nitrogen i næringen med tilsvarende mindre utslipp til vann og luft. Juridiske virkemidler i forskriften om gjødselvarer er under revisjon.

Over de regionale miljøprogrammene (ett per fylke) gis det tilskudd til endret jordarbeiding. Denne ordningen har som hovedformål å redusere erosjon og dermed avrenning av partikler og næringsalter til vassdrag, men reduserer i tillegg tapet av karbon fra jordbruksjord.

"Forskrift om tilskudd til drenering av jordbruksjord" ble innført i 2013. Det gis tilskudd til forbedring av grøftetilstand på jordbruksareal med dårlig drenert jord med potensial for økt jordbruksproduksjon, samt til å redusere faren for erosjon og overflateavrenning av næringsstoffer til vassdrag.

Det blir også gitt støtte til utbygging av biogassanlegg fra Enova og gjennom Innovasjon Norge på vegne av Landbruks- og matdepartementet. Produksjon av biogass basert på husdyrgjødsel er et tiltak som kan redusere metan- og lystgassutslippene i jordbruket. Ved å bruke husdyrgjødsel i biogassanlegg reduseres utslippene fra lagring av gjødsel, samtidig som fossil energi kan erstattes av bioenergi i for eksempel transportsektoren.

Kilde: (Meld. St. 21, 2011-2012; Klif, 2013b; SLF, 2014; SLF, 2014)

4.9.2.2 Beskrivelse av referansebanen for 2050

I referansebanen for 2050 (Meld. St. 12, 2012-2013) forutsettes det at jordbruket skal dekke matbehovet til 6,7 millioner mennesker med samme selvforsyningsgrad som i dag. Referansebanen gjenspeiler en videreføring av dagens trender i produksjon og forbruk og inkluderer kun allerede innførte virkemidler.

I 2050 antar vi at antall gårdsbruk har gått ned og således at strukturrasjonaliseringen vi er inne i i dag vil fortsette. Det totale jordbruksarealet i drift antas å være uendret sammenlignet med i dag selv om matproduksjonen har økt i takt med befolkningsøkningen. Størsteparten av arealene brukes til å dyrke gras til fôr eller korn (både til matkorn og kraftfôr). Avlingsøkningen vil være en følge av

bedre agronomi og sortsframgang. Andel dyrket myr av totalt dyrket jordbruksareal i drift er forventet å være redusert med 10 prosent på grunn av redusert nydyrking av myr per år.

I referansebanen antas det at ytelsen i melkeproduksjonen har økt, men at antall melkekyr ikke har endret seg. Ytelsesøkningen kommer ved økt bruk av kraftfôr. Spesialisert kjøttproduksjon og kjøttproduksjon i kombinasjon med melkeproduksjon forventes å være lik sammenlignet med i dag. En forutsetning i referansebanen er et konstant kjøttforbruk per person av lyse kjøttslag med innenlands produksjon, som vil gjøre det nødvendig med økt produksjon av svin og fjørfe i takt med befolkningsveksten. Dette vil øke utslipp av lystgass og metan fra husdyrgjødsel fra disse dyrene sammenlignet med i dag. I referansebanen er det også inkludert at avlsarbeid og bedre kvalitet på grovfôret vil bidra til at utslippet av metan fra fordøyelsen hos drøvtyggere er redusert med 5 prosent. Kjøttforbruket av rødt kjøtt vil være redusert med 8 prosent selv om befolkningen øker, siden antall drøvtyggere er på samme nivå som i dag (dersom vi også antar at importen holder seg på samme nivå som i dag).

Jordkvaliteten på dyrket jord antas i referansebanen å være forbedret gjennom bedre agronomisk praksis, som for eksempel gjennomført drenering, bruk av maskiner som gir mindre jordpakking og mer allsidige vekstskifter. Et godt vekstskifte bygger opp en god og fruktbar jord som gir gode avlinger. Ved å veksle mellom nærende og tærende vekster kan en utnytte jordas produksjonskapasitet bedre. Økologisk drift utgjør omtrent like stort areal som i dag, ca. 0,5 millioner dekar.

Sammenlignet med i dag forventes det at bruk av gjødsel er uendret per arealenhet som følge av presisjonsgjødsling og bedre utnyttelse, til tross for at avlingene har økt. Bedre utnytting av gjødsla (både husdyrgjødsel og mineralgjødsel) har ført til lavere utslipp av lystgass per produsert mengde mat. Avlingsnivået til korn og engvekster vil kunne øke med 10 prosent som følge av sortsframgang og bedre agronomi.

I referansebanen for 2050 er det beregnet at de årlige klimagassutslippene vil holde seg på tilsvarende nivå som i dag, på ca. 4,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (Totalt u/CO₂ i Tabell 4-33). Dette skyldes at økte utslipp fra husdyrgjødsel som følge av økt antall svin og fjørfe blir kompensert av en reduksjon i utslipp fra fordøyelse fra økt utnyttelse av grovfôr, som gir mindre metanutslipp per melkeku. Dersom vi inkluderer utslipp fra jord vil klimagassutslippene være ca. 5,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2050 ("Totalt m/CO₂" i Tabell 4-33), som tilsvarer 97 prosent av dagens utslipp. Hovedgrunnen til at utslippene er litt lavere enn i dag kommer av lavere CO₂-utslipp på grunn av redusert andel dyrket myr.

Tabell 4-33 Klimagassutslipp fra jordbruket i Norge i 2012, i referansebanen for 2025, 2030 og 2050, og for et lavutslippsscenario i 2050.

Klimagassutslipp i jordbruket I millioner tonn CO ₂ -ekvivalenter					
	2012	2025	2030	2050 referansebanen	2050 lavutslippsscenario
Totalt u/CO ₂	4,5	4,5	4,5	4,4	3,6
Totalt m/CO ₂	5,9	5,9	5,9	5,7	4,3

4.9.2.3 Selvforsyningsgrad

Norges befolkning forventes å øke til 6,7 millioner mennesker i 2050 (SSB, 2012). Dette tilsvarer en befolkningsøkning på ca. 30 prosent sammenlignet med i dag og får konsekvenser for matproduksjonen. Selvforsyningsgraden varierer fra år til år, men det har vært en nedadgående trend det siste tiåret med en reduksjon fra 52 prosent i 2005 til et rekordlavt nivå på like under 40 prosent i 2013. Svingningene skyldes i første rekke klimatiske vekstforhold som gjenspeiles i andel norskprodusert korn til matmel (Helsedirektoratet, 2013). Import av fôr og fôrvarer har imidlertid en økende trend i takt med økt fôrbehov.

Ifølge stortingsmeldingen *Velkommen til bords* (Meld. St. 9, 2011-2012) skal selvforsyningsgraden av mat basert på norske ressurser holdes på samme nivå som i dag slik at matproduksjonen må øke i takt med befolkningsøkningen. Denne forutsetningen har også blitt lagt til grunn for beskrivelsen av jordbrukssektoren i et lavutslippssamfunn. I jordbruksoppgjøret (Prop. 106 S, 2013-2014) er det nevnt at selvforsyningsgraden skal økes, men dette er foreløpig ikke konkretisert og ikke tatt med i vår beskrivelse av lavutslippssamfunnet. Det forutsettes også samme selvforsyningsgrad av fôr, slik at den prosentvise andelen av importert kraftfôr opprettholdes.

Selvforsyningsgraden i Norge er høyest for animalsk produksjon (melk, kjøtt og egg), på om lag 95 prosent. Den er adskillig lavere for vegetabilsk mat, kun 14 prosent av det norske forbruket av korn, grønnsaker, bær og frukt er produsert i Norge. Den store forskjellen i selvforsyningsgrad mellom kjøtt og vegetabilsk produkter skyldes at vår produksjon av animalske produkter ikke står i forhold til jordbruksarealet i Norge. Vel 68 prosent av arealet går til produksjon av gras og 30 prosent til korn hvorav en vesentlig del går til dyrefôr. Vi bruker størsteparten av vårt jordbruksareal til beite/fôrproduksjon. Likevel er ikke dette nok slik at vi må importere store mengder fôr, stort sett soya og mais. Selv om klimaet skulle tillate dyrking av korn og andre vegetabilsk produkter på hele Norges jordbruksareal, ville vi likevel måtte importere fôr for å kunne opprettholde husdyrholdet i dagens omfang.

I 2050 vil klimaendringene ha påvirket klimaet i Norge og dette kan få konsekvenser for jordbrukssektoren. På grunn av global oppvarming vil sannsynligvis vekstsesongen i Norge forlenges slik at avlingene øker. Klimaendringene vil derimot også føre med seg hyppigere ekstreme hendelser som tørkeperioder eller kraftigere nedbørsepisoder og flom, som kan bidra til at hele avlinger går tapt. Klimaendringene i Norge kan også bidra til at avlingene blir mer utsatt for sopp eller andre sykdomsangrep. I beskrivelsen av jordbruket i et lavutslippssamfunn i 2050 har vi ikke tatt direkte hensyn til klimaendringer i Norge eller resten av verden, men implisitt gjennom at det vil være nødvendig med klimatilpasning i det norske jordbruket for å kunne opprettholde selvforsyningsgraden på samme nivå som i dag. Det er vanskelig å si om klimaendringene vil øke

eller redusere selvforsyningsgraden i Norge. Enda mer usikkert er det hvordan klimaendringene kommer til å påvirke klimagassutslippene fra jordbruket.

4.9.3 Jordbrukssektoren i et lavutslippssamfunn

4.9.3.1 Utfordringene for jordbruket

Klimatiltak i jordbruket består av den doble utfordringen mellom klimahensyn og matproduksjon. Matproduksjon i Norge fører til at jordbrukssektoren aldri vil komme ned på et nivå med null klimagassutslipp. Rammen for vår analyse av jordbruket i et lavutslippssamfunn er å kunne produsere mat på en areal- og økonomisk effektiv og bærekraftig måte som samtidig gir lavest mulig klimagassutslipp. Dette vil sette krav til hva vi spiser, hvilken type mat vi skal produsere og hvordan vi forvalter arealene våre. Vi må også sørge for at de globale klimagassutslippene fra matproduksjon ikke øker på grunn av import av mat vi ikke produserer nok av selv. Den siste rapporten fra FNs klimapanel (IPCC, 2014) er tydelig på at det må endringer til i både produksjon og i forbruk for å få utslippsreduksjoner i jordbrukssektoren. Dagens virkemidler i jordbruket er ikke tilstrekkelig for at utslippene av klimagassene skal reduseres til et nivå forenlig med et lavutslippssamfunn.

I jordbruket er det mulighet for å få store omlegginger så langt fram i tid som 2050. Det kan tenkes at vi vil stå overfor store endringer i både skifte av diett i verdensbefolkningen og i teknologiframgang på produksjonssiden, som kan få innvirkning på jordbruket i Norge. Vi skisserer her én mulig vei for jordbruket i et lavutslippssamfunn basert på den tilgjengelige informasjonen om tiltak og virkemiddelbruk vi har i dag. Forbrukerne har et spesielt ansvar fordi det vil være opp til dem hva som skal produseres i jordbruket i framtiden.

4.9.3.2 Beskrivelse av matproduksjon i lavutslippssamfunnet

I et lavutslippssamfunn forutsettes det at matproduksjonen i jordbruket har blitt mer klimavennlig som følge av utslippsreduserende tiltak, men også på grunn av at befolkningen har fått et mer bevisst forhold til matforbruk, for eksempel ved diettendring og mindre kasting av mat.

I lavutslippssamfunnet vil redusert kjøttproduksjon ha ført til lavere utslipp fra husdyrdrift. Dette kommer av reduserte metanutslipp fra husdyrs fordøyelse og mindre metan- og lystgassutslipp fra husdyrgjødsel. I beregningene våre har vi lagt til grunn en reduksjon av kjøttproduksjon fra både storfe (ammeku), svin og fjørfe. En del av reduksjonen av ammeku er en omlegging av produksjonen til svin og fjørfe. Dette er omtalt under tiltaksanalysen. I 2050 lavutslippsscenarioet i Tabell 4-33 er det forutsatt at ammekuproduksjonen er redusert med 60 prosent sammenlignet med dagens nivå. Produksjon av fjørfe og svin er redusert med 10 prosent.

Korn- og grasarealer reduseres som følge av redusert kjøttproduksjon som blir kun delvis erstattet av økt areal til vegetabilsk matproduksjon. Den totale andelen dyrket mark i lavutslippssamfunnet reduseres med 7 prosent sammenlignet med referansebanen i 2050. Vi legger til grunn av arealet av dyrket myr er lavere enn i dag og enn i referansebanen på grunn av stans i nydyrking av myr. Det fører til at CO₂- og lystgassutslippene fra dyrket myr er redusert med ca. 30 prosent.

Vi forutsetter at 60 prosent av husdyrgjødsel og restavlinger av potet, grønnsaker og drivhusvekster brukes som råstoff til biogassproduksjon. Så langt fram i tid som 2050 antar vi også at teknologien for å produsere biokull er på plass i et fullskala-anlegg. Det er forutsatt at 30 prosent av halmen i jordbruket blir brukt til å produsere biokull. Det vil føre til økt karbonbinding i jord.

Utslipp av klimagasser i jordbruket i et lavutslippssamfunn er beregnet til 4,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (Tabell 4-33). Dette er 28 prosent lavere enn dagens nivå og 25 prosent lavere enn

referansebanen i 2050. Dersom vi kun regner med utslipp av metan og lystgass slik som utslippene fra jordbruket er oppført i utslippsregnskapet, så er utslippet på 3,6 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Dette er en reduksjon på 20 prosent i forhold til dagens nivå og 18 prosent i forhold til referansebanen i 2050.

4.9.3.3 Endring i forbruk av mat

I denne analysen av lavutslippssamfunnet antar vi at forbrukerne har gått over til et mer klimavennlig kosthold.

I "2050 lavutslippsscenario" er det lagt til grunn at totalinntaket av energi og protein per person er uendret, men inntak kilo mat per person øker fordi befolkningen spiser mer vegetabilsk mat og fisk, men mindre kjøtt. Forbruket av fisk per person har økt med 30 prosent fra dagens nivå 21 kg til 27 kg per person, mens forbruket av kornprodukter og poteter økes med 10 prosent og grønnsaker, frukt og bær økes med 15 prosent. Vegetabilske produkter økes dermed fra 301 kg per person til 331 kg per person. Kjøttforbruket reduseres med 18 prosent totalt og har gått ned fra 75 kg til 62 kg per person, på samme nivå som det var på begynnelsen av 2000-tallet (Helsedirektoratet, 2013). Forbruket av egg, melk og melkeprodukter er uendret. Forbruket av sukker er redusert med 25 prosent av helsemessige grunner. Svinn og kasting av mat (det har i denne omgangen bare vært tilgjengelig informasjon på utslippsreduksjoner forbundet med animalsk matavfall) er redusert med 50 prosent.

Figur 4-59 viser hvordan forbruket av mat i kg per person i 2012 og i 2050 fordeler seg på de ulike matkategoriene basert på de endringene som er beskrevet over³⁵. Størst endring ser vi for andelen kjøtt som reduseres samtidig som det er økt forbruk av vegetabilske produkter og fisk.

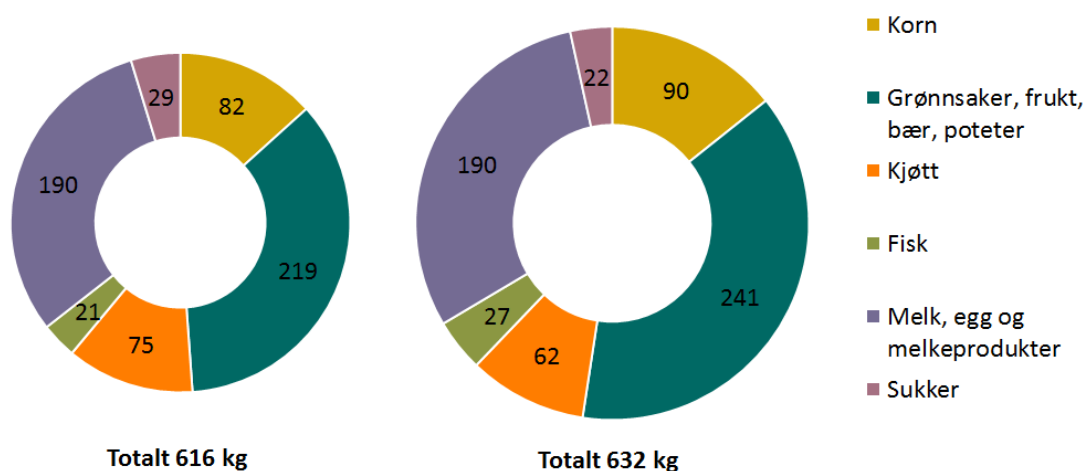
4.9.3.4 Usikkerheter

Det ligger selvsagt store usikkerheter i hvilke utslippsreduksjoner knyttet til jordbruket som vil skje i et lavutslippssamfunn. Den største usikkerheten ligger i hvilken type matproduksjon vi har i 2050. Både kostholdsendringer og klimaendringer kan bidra til store omlegginger i matproduksjonen.

³⁵ Forbruket av matvarer kan også sammenlignes basert på energiinnhold. Vi har her valgt å fremstille det på vektbasis for å få frem at mindre forbruk av kjøtt øker inntaket av fisk, korn og grønnsaker for å kunne holde energi- og proteininnholdet i kosten uendret.

Matforbruk (kg pr. person) i 2012

Matforbruk (kg pr. person) i 2050



Figur 4-59 Forbruk av matvarer basert på kg per innbygger i 2012 (Helsedirektoratet, 2013) og i lavutslippssamfunnet i 2050. Totalinntaket av energi og protein per person i 2012 og 2050 er uendret.

4.9.4 Tiltaksanalyse mot 2030

4.9.4.1 Utslippsreduksjoner i jordbrukssektoren i 2025 og 2030

Tiltakene som må gjennomføres i jordbruket for å nå lavutslippssamfunnet med utslippsreduksjoner i 2025 og 2030 er oppsummert i Tabell 4-34. En mer utfyllende beskrivelse av alle forutsetninger og beregningsmetoder enn det som er gjengitt her finnes i Bioforsks rapport *Klimagasser i jordbruket* (Bioforsk, 2014) eller Miljødirektoratets *Forslag til handlingsplan for norske utslipp av kortlevde klimadrivere* (Miljødirektoratet, 2013a). Flere tiltak og oppdatering av gjeldende tiltak vil bli utredet i neste fase av lavutslippsoppdraget. Utslippsreduksjonene i Tabell 4-35 er oppgitt både med og uten endring i utslipp eller opptak av CO₂. De tiltakene som har effekt på CO₂-utslippene er stans i nydyrking av myr, mindre matsvinn og overgang fra rødt til hvitt kjøtt, og disse utslippsreduksjonene av CO₂ overføres til kapittelet om Skog og arealer (kapittel 4.10). Tiltak som vi anser at ikke vil kunne ha særlig effekt på kort sikt på grunn av mangelfullt datagrunnlag eller umoden teknologi er biokull, drenering og restaurering av myr. På lengre sikt kan imidlertid disse tre tiltakene være viktige for å øke karbonbindingen i jord.

I forbindelse med tiltak rettet mot kjøttforbruk har vi for 2025 og 2030 kun beregnet utslippsreduksjoner som følge av en overgang i forbruket fra rødt til hvitt kjøtt, men vi vil se på mulighetene for andre typer omlegging i kosthold i neste fase av dette oppdraget. I beskrivelsen av lavutslippssamfunnet i 2050 antar vi også at det *totale* kjøttforbruket vil være redusert, men det er ikke inkludert som et tiltak i 2025 og 2030.

Tiltakene i Tabell 4-34 vil være en gradvis innfasing mot lavutslippssamfunnet, som gjør at utslippsreduksjonen er noe lavere i 2025 enn i 2030. Biokull er antatt å ha effekt først i 2050 og er derfor ikke inkludert i 2025-2030 perspektivet. For tiltakene som gjelder drenering og restaurering av myr er tallene så usikre at de ikke er inkludert i denne analysen, men vil bli vurdert på nytt med oppdaterte estimater i neste fase av lavutslippsoppdraget.

Utslippsreduksjonene i 2025 og 2030 er på henholdsvis 338 og 411 000 tonn CO₂-ekvivalenter, og bidrar på god vei til å komme ned til det anslåtte utslippsnivået i lavutslippssamfunnet i 2050 på 3,6 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. I lavutslippssamfunnet er utslippene beregnet til å være ca. 800

000 tonn CO₂-ekvivalenter lavere enn referansebanen i 2050. Det vil si at i 2030 vil ca. halvparten av utslippene allerede være redusert.

Tabell 4-34 Oversikt og utslippsreduksjoner for tiltak i jordbruket i 2025 og 2030.

	Klimatiltak i jordbruket Utslippsreduksjoner i 1000 tonn CO2-ekvivalenter				Kostnads- kategori	Mulig virke- middel	Gjennom- førbarhet
	2025 Kun lystgass og metan	2025 m/CO ₂	2030 Kun lystgass og metan	2030 m/CO ₂			
Stans i nydyrking av myr	33	187	43	242	<500 kr/tonn	Krav	Forholdsvis enkelt
Biogass	152	152	183	183	500-1500 kr/tonn	Støtte	Middels krevende
Rødt til hvitt kjøtt	84	88	112	118	<500 kr/tonn	Støtte	Krevende
Mindre matsvinn	69	78	73	83	<500 kr/tonn	Krav	Middels krevende
(Biokull)					>1500 kr/tonn	Støtte	Middels krevende
(Drenering)						Støtte	Forholdsvis enkelt
(Restaurering av myr)						Støtte	Forholdsvis enkelt
TOTALT	338	505	411	626			

4.9.4.2 Beskrivelse av tiltak og mulige virkemidler

Her følger en beskrivelse av forutsetningene, hvilke utslipp og hvor mye de reduseres, forslag til mulige virkemidler og grad av gjennomførbarhet for hvert av tiltakene.

Mindre matsvinn

Det kastes årlig ca. 47 kg nyttbar mat i private husholdninger per innbygger i Norge. Ca. 15 prosent av dette er animalsk avfall fra kjøtt-, fisk- og meieriprodukter (Østfoldforskning, 2013). I tillegg kommer tap i industrien, dagligvarehandelen, og storkjøkken. Mindre svinn og kasting av mat reduserer behovet for og produksjonen av animalske produkter som fører til lavere metan-, lystgass og CO₂-utslipp. En opptrapping av dette tiltaket i perioden fram mot lavutslippsamfunnet skal føre til full effekt i 2050. I 2025 tilsvarer utslippsreduksjonen 37,5 prosent reduksjon i matsvinn, i 2030 40 prosent matsvinn og i 2050 er mengden animalsk avfall halvert.

Dette tiltaket vil få følger for mengde biogass produsert av våtorganisk avfall fra denne typen matavfall. Utredninger viser derimot at det er 10 ganger mer klimaeffektivt å hindre at matavfallet oppstår (det vil si at det produseres), enn å lage biogass av den samme mengden.

Forslag fra EU kommisjonen foreslår et mål om at mengden matavfall reduseres med minst 30 prosent i gitte sektorer i perioden 1. januar 2017 til 31. desember 2025. Medlemslandene skal i tillegg innføre tiltak for å redusere mengde matavfall gjennom verdikjeden for mat. Mer omtale av avfallsforebygging gis i avfallskapittelet (kapittel 4.5.3 Avfallssektoren i et lavutslippssamfunn - *Avfallsforebygging mot 2050*, og 4.5.4 Tiltaksanalyse mot 2030).

Det finnes få virkemidler som er effektive for denne type tiltak, som går på atferdsendring. Informasjonskampanjer hos store husholdninger og privatpersoner kan ha positiv effekt, eventuelt sammen med høyere prising av animalske produkter for forbruker og krav til næringsindustrien om å redusere matavfallet sitt.

Rødt til hvitt kjøtt

Dette tiltaket går ut på en omlegging av kjøttproduksjonen fra rødt til hvitt kjøtt og at omleggingen også skjer i kostholdet til forbrukerne. Dette vil gi mindre utslipp av metan og lystgass fra endret husdyrhold og mindre CO₂-utslipp fra arealbruk. Kjøttproduksjon av ammeku og sau som er beitedyr gir ca. 60 prosent større klimagassutslipp per dekar enn produksjon av gris eller kylling. Det vil være en gradvis nedfasing mot 40 prosent produksjon av dagens nivå av spesialisert storfekjøtt fram mot lavutslippssamfunnet. I 2025 kommer utslippsreduksjonen på 88 000 tonn CO₂-ekvivalenter av en omlegging av 3 600 tonn kjøtt fra drøvtyggere til svin eller fjørfe. I 2030 kommer utslippsreduksjonen på 118 000 tonn CO₂-ekvivalenter fra omlegging av ca. 5500 tonn kjøtt. Virkemidler for å utløse disse tiltakene vil være støtte til omlegging av drift samt informasjonskampanjer for endring hos forbrukerne, eventuelt sammen med prisdifferensiering.

Stans i nydyrking av myr

Tiltaket bevarer myr som økosystem som fører til mindre CO₂- og lystgassutslipp. CO₂-utslippene blir rapportert som arealbruksendringer. Utslippsreduksjonene i 2025 og 2030 forutsetter at det blir stans av nydyrking av myr før 2020. Et virkemiddel for å få til dette er innføring av forbud mot omlegging av myr til nydyrking. Gjennomførbarheten for tiltaket er vurdert til å være høy fordi styringseffektiviteten til et forbud er effektivt, og fordi det ikke er behov for en bestemt teknologi for å komme i gang med tiltaket. Tiltaket vil kunne komme i målkonflikt med behovet om å øke dyrkede areal i områder hvor det er få eller ingen alternativer til å dyrke myr.

Biogass

Husdyrgjødsel kan brukes som råstoff til biogassproduksjon. Vi har antatt at 30 prosent av husdyrgjødsel blir brukt til biogassproduksjon i 2025 og at andelen øker til 35 prosent i 2030. Tiltaket gir også utslippsreduksjoner i transportsektoren som følge av konvertering fra fossilt drivstoff til biodrivstoff. Kostnaden for biogass er i Bioforsk (2014) vurdert til medium/høy og her lagt til kategorien medium. Denne kostnaden vil også i noen tilfeller bli vurdert til kategorien høy. Et virkemiddel for å øke produksjonen av biogass er blant annet å gi støtte til storskala biogassanlegg.

Biokull

Biokull er forkullet biomasse som kan lagres i jord slik at karbonbindingen i jordsmonnet øker. Produksjon av biokull kan skje ved pyrolyse av halm og skogsavfall. Dersom 30 prosent av halmen i jordbruket omdannes til biokull vil utslippsreduksjonen være ca. 350 000 tonn CO₂ i form av økt binding av karbon i jord. Dette tiltaket må i dag foreløpig anses som et usikkert tiltak med hensyn til teknologi og kostnader. Pyrolyseteknologien og utvikling av flere pyrolyseanlegg med stor kapasitet kan i framtiden drives med lavere kostnader enn i dag. Det vil være behov for produksjonsstøtte for videre forskning og utvikling på effekten av biokull, slik at teknologien kan benyttes i et storskalaanlegg. I lavutslippssamfunnet forventes det at et slikt storskalaanlegg er i drift, men på kort sikt er det lav gjennomførbarhet og høye kostnader som tilsier at det er lite

sannsynlig at dette tiltaket vil føre til utslippsreduksjoner. Det må også legges til rette for transport av halm til anleggene. For produksjon av biokull fra avfallsektoren er infrastrukturen og innsamling av råstoff til denne produksjonen allerede tilstede. Biokullproduksjon fra avfallssektoren er omtalt i kapittel 4.5.3 *Avfallssektorens bidrag til andre sektorer i lavutslippssamfunnet*, og må sees i sammenheng med biokullproduksjon fra jordbrukssektoren.

Drenering (ikke kvantifisert)

Betydelige arealer med dyrket jord har behov for ny drenering. Dette vil føre til mer luft i jorda, bedre mulighet for rotutvikling og utnyttelse av næringsstoffer. Dette vil øke avlingens størrelse og samtidig redusere lystgassdannelse (og utslipp) og medføre behov for mindre nitrogengjødsel. Utslipp av lystgass per produsert enhet mat blir dermed redusert. Til tross for at forskning og forsøk viser klart at drenering har en positiv effekt på klima på grunn av reduserte lystgassutslipp, er det i dag vanskelig å kvantifisere utslippsreduksjonene på grunn av store lokale forskjeller. Videre forskning, og utvikling av utslippsregnskapet, vil bedre dette. Landbruks- og matdepartementet fastsatte forskrift om tilskudd til drenering av jordbruksjord i 2013. Det er i jordbruksavtalen avsatt 100 millioner kroner for 2013 og 100 millioner kroner for 2014 til drenering. Den økonomiske støtten er på 1000 kr per dekar.

Restaurering av myr (ikke kvantifisert)

Tiltaket går ut på tilbakeføring av dyrket myr til naturtilstand gjennom heving av grunnvannet og reetablering av myrvegetasjon. Tiltaket vil gi mindre CO₂- og lystgassutslipp, men økt utslipp av metan, og blir kategorisert som arealbruksendring. Utslippsreduksjonene er usikre og ikke kvantifisert på grunn av store lokale forskjeller og fordi det er vanskelig å beregne den totale effekten.

4.9.5 Mulig utslippsnivåer

4.9.5.1 Tiltakspakker i jordbrukssektoren

Tiltakene som er beskrevet i Tabell 4-34 er kategorisert etter kostnadsnivå og gjennomførbarhet i Tabell 4-35. Utslippsreduksjonene er for 2030 og vises både med og uten CO₂. Tre av fire tiltak i jordbruket er billige å gjennomføre (< 500 kr/tonn) fordi de ikke inkluderer innføring av nye, dyre teknologier. Gjennomførbarheten varierer mellom de billige tiltakene fra forholdsvis enkelt (stans i nydyrking av myr) til middels krevende (mindre matsvinn) og krevende (overgang fra rødt til hvitt kjøtt). Biogasstiltaket har medium kostnad (500-1500 tonn kr/tonn) og vil være middels krevende å gjennomføre fordi det trengs flere fullskala biogassanlegg for å kunne få disse utslippsreduksjonene (i 2030 har vi lagt til grunn at 35 prosent av husdyrgjødsel og restavling blir brukt til produksjon av biogass). Det er ikke beregnet noen tiltak i 2030 som har høy kostnad.

Tabell 4-35 Oversikt over kostnad og gjennomførbarhet for tiltakene i jordbruket i 2030. Utslippsreduksjonene i tonn CO₂-ekvivalenter med og uten CO₂ er inkludert.

Tiltak	Gjennomførbarhet		
Kostnad	Forholdsvis enkelt	Middels krevende	Krevende
Lav < 500 kr/tonn	1. Stans i nydyrking av myr 43 000 tonn CO ₂ -ekvivalenter som kan tilegnes jordbruket 199 000 tonn CO ₂ som kan tilegnes arealbruksendringer (242 000 tonn CO ₂ -ekv.)	2. Mindre matsvinn 73 000 tonn CO ₂ -ekvivalenter som kan tilegnes jordbruket 10 000 tonn CO ₂ som kan tilegnes arealbruksendringer (83 000 tonn CO ₂ -ekv.)	3. Rødt til hvitt kjøtt 112 000 tonn CO ₂ -ekvivalenter som kan tilegnes jordbruket 6 000 tonn CO ₂ som kan tilegnes arealbruksendringer (118 000 tonn CO ₂ -ekv.)
		4. Biogass 183 000 tonn CO ₂ -ekvivalenter som kan tilegnes jordbruket (183 000 tonn CO ₂ -ekv.)	
Medium 500–1500 kr/tonn			
Høy >1500 kr/tonn			

De fire tiltakene er også oppsummert i tre tiltakspakker i Tabell 4-36 basert på kostnadsnivå og gjennomførbarhet. Tiltakspakke 1 inkluderer tiltaket med lavt kostnadsnivå og som er relativt enkelt å gjennomføre (Stans i nydyrking av myr), tiltakspakke 2 inkluderer tiltak med lav/middels kostnadsnivå og er relativt enkle eller middels krevende å gjennomføre (tre tiltak- alle tiltak minus rødt til hvitt kjøtt) og tiltakspakke 3 inkluderer alle fire tiltakene som er utredet.

Tabell 4-36 Oversikt over tiltakspakker og tilsvarende utslippsreduksjoner i 2025 og 2030.

Tiltakspakker Utslippsreduksjoner i 1000 tonn CO ₂ -ekvivalenter				
	2025 Kun lystgass og metan	2025 m/CO ₂	2030 Kun lystgass og metan	2030 m/CO ₂
Tiltakspakke 1	33	187	43	242
Tiltakspakke 2	254	417	299	508
Tiltakspakke 3 (alle)	338	505	411	626

4.9.5.2 Konsekvenser av utslippsreduksjoner i jordbrukssektoren i et lavutslippssamfunn

Energiforbruk

Det forventes at energiforbruket i jordbrukssektoren vil være uendret i et lavutslippssamfunn sammenlignet med i dag. Jordbruket kan bidra med biogass og således øke energitilbudet fra denne

sektoren til andre sektorer. Biogassmengden i 2050, som vi kunne gi en utslippsreduksjon på 216 000 tonn CO₂-ekvivalenter ved at fossilt brennstoff blir byttet ut med biogass, tilsvarer en energimengde på 3,0 TWh. Forutsetningene er at energiinnholdet i ett tonn metan er 50,2 GJ (energifakta.no, 2014).

Øvrige konsekvenser

I framtiden blir det økt kamp om hva arealene våre skal brukes til. Utbygging for å imøtekomme den økte bosettingen samt nye veier, jernbane og annen infrastruktur vil være svært arealkrevende. Med en voksende befolkning og med økt matproduksjon vil det også være behov for å drive jordbruk på nye arealer. Knapphet på arealer vil være en begrensende faktor for opprettholdelse av selvforsyningsgraden som betingelse for jordbruket i et lavutslippssamfunn.

Økt import av matvarer vil kunne gå ut over matsikkerheten og gjøre befolkningen mer utsatt i krisesituasjoner eller ved uforutsette hendelser. Samtidig vil dette også kunne føre til høyere netto utslipp på globalt nivå enn dersom vi hadde produsert mer i Norge, siden produksjon og utslipp kun flyttes til et annet sted i verden. Matsikkerheten er også avhengig av at jordbruket og dyrkingssystemene er tilpasset klimaendringen. I framtiden vil det være aktuelt å produsere og dyrke andre sorter dyr og plantevekster som er tilpasset et varmere og våtere klima. Det kan føre til en bedre utnyttelse av arealene og vil også være viktig med tanke på arealknappheten.

4.9.6 Oppsummering

I denne oppsummeringen av jordbrukssektoren omtales metan og lystgassutslipp slik at vi kan sammenligne med utslippene som ligger i referansebanen. Utslippsreduksjoner fra tiltak i jordbruket som påvirker CO₂-utslippene er overført til sektoren som omtaler skog og andre landarealer (kapittel 4.10).

I 2012 var utslippene av metan og lystgass fra jordbruket på 4,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. I referansebanen for 2050 er det beregnet at de årlige klimagassutslippene vil holde seg på tilsvarende nivå som i dag, på ca. 4,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. For 2050 antas det blant annet at et konstant kjøttforbruk per person av svin og fjørfe i den økende befolkningen skal dekkes med innenlands kjøttproduksjon. Dette vil føre til økte utslipp fra husdyrgjødning men som blir kompensert av en reduksjon i utslipp fra fordøyelse fra drøvtyggere på grunn av økt utnyttelse av grovfôr.

Vi har beskrevet fire tiltak som kan innføres innen 2030 som vil bidra til at jordbruket er med på å nå lavutslippssamfunnet. Til sammen bidrar de med utslippsreduksjoner av metan og lystgass på 411 000 tonn CO₂-ekvivalenter. Tiltakene som har størst effekt på utslipp i jordbruket er biogass fra husdyrgjødning og restavlinger, en omlegging av produksjon fra rødt til hvitt kjøtt og mindre matsvinn. Vår analyse viser at alle disse tre tiltakene må inkluderes for å få ned utslippene fra jordbruket på et nivå forenlig med et lavutslippssamfunn. Det fjerde tiltaket er stans i nydyrking av myr som fører til noe mindre lystgassutslipp i tillegg til en større andel reduksjon av CO₂-utslipp. Utslippsreduksjonene av CO₂ for tiltak som endrer karbonbinding i jord blir bokført i sektoren skog og andre arealer (kapittel 4.10). Tiltakene som endrer karbonbindingen i jord bidrar til utslippsreduksjoner av CO₂ i 2030 og 2050 på henholdsvis 215 000 tonn og 338 000 tonn CO₂, hvor mesteparten skyldes stans i nydyrking av myr. Kostnadene for tiltakene som er beskrevet for jordbruket er lave, med unntak av biogass tiltaket som er estimert med medium kostnad.

I lavutslippssamfunnet har vi i tillegg til tiltakene som er beskrevet for 2030 også tatt i betraktning at befolkningen spiser mindre kjøtt. Dersom produksjonen av hvitt kjøtt (svin og fjørfe) reduseres med 10 prosent og ammeku på 60 prosent, vil kjøttforbruket være 18 prosent lavere enn i dag.

Dersom alle endringene i jordbruket blir gjennomført vil utslippene av metan og lystgass være 3,6 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2050. Dette er ca. 800 000 tonn CO₂-ekvivalenter lavere enn referansebanen for 2050. Den største utfordringen for jordbruket og matproduksjonen i Norge vil være at befolkningen må endre kostholdet sitt slik at utslippene fra produksjonen av kjøtt blir redusert.

4.10 Skog og andre landarealer

4.10.1 Innledning

Dette kapittelet omhandler «skog og andre landarealer»³⁶, og hvordan sektoren kan bidra til lavutslippssamfunnet. Innledningsvis gir vi en overordnet beskrivelse av skog og andre landarealers rolle i klimasammenheng og gjør rede for hvilke forutsetninger og avgrensninger vi har gjort for analysen. Videre beskrives sektorens historiske opptak og utslipp av klimagasser og hvilken trend vi kan forvente framover mot 2100. Til sist ser vi på mulige roller sektoren kan ha i lavutslippssamfunnet og hvilke tiltak som kan gjennomføres på kort sikt for å ta oss dit vil ønske å være på lengre sikt.

Skog og andre landarealers rolle i klimasammenheng

Skog og andre landarealer fyller flere funksjoner i karbonsyklusen. Fotosyntesen sørger for at CO₂ tas opp i levende biomasse når vegetasjonen vokser. Slik er skog og andre landarealer en kilde til opptak av CO₂. Karbondioksid slippes ut ved forbrenning og nedbryting av biomasse, i tillegg til at bearbeiding av jord kan øke nedbrytingen av organisk materiale i jordsmonnet som gir økt utslipp av CO₂. Dette kan skje både gjennom arealbruk og gjennom endring i bruk av arealer (arealbruksendring). I tillegg kan det oppstå lystgassutslipp ved gjødsling av skog, grøfting av skog og våtmarker og jordbearbeiding ved arealbruksendring. Også utslipp av metan kan forekomme. Slik er skog og andre landarealer en kilde til utslipp av klimagasser. Endelig er levende biomasse, både over og under bakken, og jord store lagre for den CO₂ som er tatt opp gjennom fotosyntesen. I boreale skoger er det største karbonlageret, anslag viser så mye som 84 prosent (IPCC, 2000), i jorden. Resten av karbonet er lagret i levende biomasse. Samtidig er det i levende biomasse at en har størst årlig netto opptak.

I utvikling av klimapolitikk for skog og andre landarealer er det viktig at man vurderer hvordan sektoren best kan bidra til lavutslippssamfunnet: Er det viktigst å øke det årlige opptaket av CO₂? Er det mest sentralt å ta vare på lageret av CO₂? Eller ønsker en å fokusere på å redusere utslippene fra skog og landarealer? Hvilken strategi man lander på vil være avhengig av hvilken skog vi ønsker å ha i framtiden og hvilke produkter den forventes å levere.

I dette kapittelet vil omtalen av mulige tiltak ha fokus på arealkategorien skog, men vi vil også peke på tiltak som kan bidra til å redusere utslippene fra de andre arealkategoriene.

³⁶ Sektoren dekker alle landarealer i Norge, og deles inn i arealkategoriene skog, dyrket mark, beite, vann og myr, bebyggelse og annen utmark.

Jordbruk, skog og landarealer (AFOLU) i et globalt perspektiv

Det er en sterk sammenheng mellom de to sektorene «jordbruk» og «skog og andre landarealer». Flere av tiltakene som har effekt i jordbrukssektoren vil også påvirke klimagassregnskapet i sektoren skog og andre landarealer. I tillegg vil det i flere tilfeller være en målkonflikt mellom disse sektorene, i og med at begge har behov for stor tilgang til arealer. Disse to sektorene er behandlet samlet i FNs klimapanelers femte hovedrapport for å bedre kunne dekke overlappende problemstillinger. I henhold til retningslinjer for rapportering av klimagassregnskap til FNs klimakonvensjon skal sektorene fortsatt holdes adskilt.

Globalt står jordbruk, skog og landarealer (AFOLU) for rundt en fjerdedel av de totale klimagassutslippene. I rapporten *Better Growth, Better Climate: The New Climate Economy Report* (The Global Commission on the Economy and Climate, 2014) er avskoging og skogforringelser anslått til å stå for ca. 11 % av globale utslipp av klimagasser. De fleste av de modeller og datasett FNs klimapanel støtter seg på viser at det har vært en nedgang i utslipp av CO₂ fra skog og arealbruk de seneste årene. Dette skyldes stort sett redusert avskoging i utviklingsland, samtidig som skogen har et nettoopptak av CO₂ i de fleste industriland. Det generelle bildet er at det i tempererte og boreale skoger er et redusert utslipp og et økt opptak av CO₂. Disse regionene inkluderer områder med etablering av skog på nye arealer, og store arealer med forvaltet skog, der hogst og påfølgende foryngelse er vanlig praksis.

De fleste framskrivingene i FNs klimapanelers femte hovedrapport viser en forventning om at utslippene fra AFOLU-sektorene fortsetter å synke i framtiden. Netto utslippene fra sektoren i 2050 kan potensielt være mindre enn halvparten av utslippene i 2010, og før slutten av århundret er det mulig at sektoren har netto opptak av klimagasser. FNs klimapanelers femte hovedrapport viser også at i en situasjon med 450 ppm uten CCS, vil en utover i århundret forvente netto opptak i AFOLU sektoren (IPCC, 2014). I praksis betyr dette etablering av skog og dertilhørende store arealbruksendringer.

Arealkategorien skog

Skog er en viktig arealkategori for flere land, og i Norge er dette den kategorien med høyest netto opptak av klimagasser av arealkategoriene i sektoren. FNs klimapanel skisserer fire tiltakskategorier for å redusere utslipp og øke opptak av klimagasser i skogen.

- Redusere utslippet av klimagasser gjennom redusert avskoging og skogforringelse. Dette er spesielt aktuelt i utviklingsland der LULUCF-sektoren står for netto utslipp.
- Øke opptaket gjennom økt planting av skog på nye arealer
- Øke karbonopptaket på eksisterende skogarealer gjennom forbedret skogforvaltning
- Restaurering av skog

Det er imidlertid regionale forskjeller i hvilken rolle skogen har for å oppnå togradersmålet på grunn av lokale biofysiske (vekstforhold, albedo (se faktaboks), evapotranspirasjon (se faktaboks) og aerosoler (se faktaboks)), samfunnsøkonomiske og kulturelle faktorer. Andre faktorer som er viktige for sektorens potensial til å bidra til togradersmålet er hvordan klimaendringene vil påvirke karbonlageret i jorda og i levende biomasse og hvilke effekter klimatiltakene vil ha på biodiversitet og andre miljøverdier.

Tiltaksanalysen i kapittel 4.10.4 tar utgangspunkt i Klimakur 2020 og tilleggsanalyser som har blitt utarbeidet i etterkant av dette. Det vil si at analysen har hovedfokus på opptak og utslipp av CO₂ i levende biomasse. Vi vil i tillegg omtale andre klimaeffekter og effekter på naturmangfold.

Til rapporten som skal leveres i februar 2015 vil vi søke å oppdatere vurderingene så langt det lar seg gjøre.

Tidsperspektivet

Planteveksten i boreal skog er relativt langsom. I Norge tar det gjerne 60-120 år før et nyplantet tre er hogstmodent. I norsk klimapolitikk skiller derfor skogen seg fra de fleste andre sektorer, ved at mange av tiltakene som gjennomføres i dag vil ha liten, og kanskje negativ, effekt på klimagassregnskapet på kort sikt, men stor positiv effekt på lang sikt, både for opptak av CO₂ i skog og som en betinget fornybar ressurs³⁷ som kan gi utslippsreduksjoner i andre sektorer. For arealbruk, og spesielt arealkategorien skog, er det derfor mest hensiktsmessig å se sektoren i et langt tidsperspektiv. Vi har beregnet tiltakskostnader av tiltakene ved slutten av skogens omløpstid, det vil si opp mot 100 år.

Sektorens rolle i en ny klimaavtale

Utslipp og opptak av klimagasser fra skog og andre landarealer er en viktig del av det norske klimagassregnskapet. Det er imidlertid bare en andel av opptaket som kan brukes opp mot vår utslippsforpliktelse i 2020 under Kyotoprotokollen. Vi vet ikke hvordan klimaregimet vil bli etter 2020. Vurderingene i dette kapittelet legger til grunn at alle utslipp og opptak skal vurderes i sin helhet. Det vil si at vi ser bort fra eventuelle begrensninger i regnskapsføringen for sektoren som vil kunne ligge i en framtidig klimaavtale.

Økende behov for arealer

FNs klimapanel trekker fram utfordringer relatert til arealbruk globalt. For å nå togradersmålet vil det kunne være behov for negative utslipp (fjerne CO₂ fra atmosfæren) i relativt stort omfang. Dette kan man få til gjennom omfattende kraftproduksjon basert på bioenergi, der CO₂ fra forbrenningen fanges og lagres geologisk under bakken (CCS), eller gjennom omfattende skogplanting (jamfør kapittel 1.1). Dette vil kunne kreve en endring i arealbruken, med større arealer med skog, fra dagens situasjon. Det totale jordbruksarealet i drift antas å være uendret sammenlignet med i dag selv om matproduksjonen vil øke i takt med befolkningsøkningen. Det henger blant annet sammen med at vi forventer større avlinger per arealenhet og vridninger i forbruket (jamfør kapittel 4.9 Jordbruk). En økende befolkning vil imidlertid kunne kreve mer areal til blant annet infrastruktur. Areal vil kunne komme til å bli en begrensende faktor, ikke bare globalt, men også for Norge.

Utslipp og opptak relatert til arealbruksendringer bokføres i sektoren for skog og andre landarealer. Driverne vil imidlertid i hovedsak være i andre sektorer. Tiltak som påvirker etterspørselen etter arealer vil beskrives i de relevante sektorene.

Sektorens tilknytning til andre sektorer

Sektoren er naturlig knyttet til tiltak og virkemidler i andre sektorer. Kapittelet omtaler de utslipp som er omfattet av utslippsregnskapet for sektoren skog og andre landarealer. Der omtalen avviker fra dette, er det presisert.

Eksempelvis vil flere av tiltakene som er omtalt i jordbrukskapittelet også ha effekter i denne sektoren, som for eksempel stans i nydyrking av myr. Det totale bildet er presentert i jordbrukskapittelet, mens vi omtaler effektene knyttet til landarealer i dette kapittelet.

Når det gjelder omtale av bioenergi generelt viser vi til kapittel 3.9 Biomasse til bioenergi. I dette kapittelet vil vi beskrive forventet ressurstilgang fra sektoren, mens kapittel 6 Energi omtaler etterspørsel og ulike anvendelsesområder på tvers av sektorer. Vi har lagt avvirkningsnivået i

³⁷ Betinget fornybar ressurs betyr at så lenge det sørges for foryngelse etter avvirkning, vil trevolumet i skogen gjenvinnes, og en vil oppnå en langsiktig, vedvarende ressurs.

framskrivingen til grunn for forventet ressurstilgang, der avvirkningsnivået bestemmes ut fra faktorer som aldersfordeling og tilgjengelighet (avstand til vei) for den hogstmodne skogen.

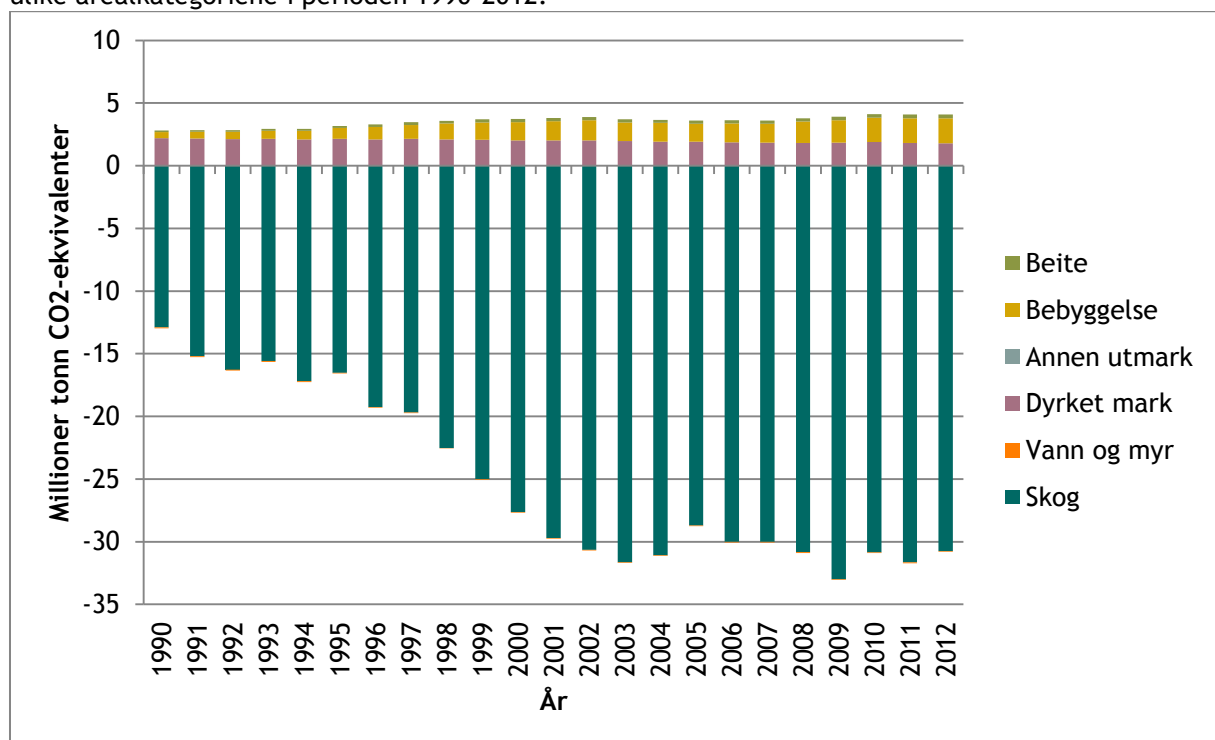
Prosess

Landbruksdirektoratet (tidligere Statens Landbruksforvaltning) og Norsk institutt for skog og landskap har gitt verdifulle tilbakemeldinger i prosessen, men Miljødirektoratet står alene som ansvarlig for vurderingene som er gjort i kapittelet.

4.10.2 Opptak, utslipp og framskrivinger

Historisk opptak og utslipp av klimagasser

Utslipp og opptak av klimagasser fra sektoren skog og andre landarealer i Norge rapporteres årlig til FNs Klimakonvensjon, der sektoren deles inn i arealkategoriene skog, dyrket mark, beite, vann og myr, bebyggelse og annen utmark. Figur 4-60 viser hvordan opptak og utslipp har fordelt seg på de ulike arealkategoriene i perioden 1990-2012.



Figur 4-60 CO₂ utslipp fra arealkategorier i sektoren skog og andre landarealer (millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år) fra 1990 til 2012. Kilde: (Miljødirektoratet et al., 2014a).

Netto opptak fra sektoren skog og andre landarealer var om lag 26,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2012, noe som tilsvarer nesten halvparten av samlede utslipp fra de øvrige sektorene i Norges klimagassregnskap. I 2012 hadde Norge netto utslipp av klimagasser fra arealbrukskategoriene dyrket mark (1,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter), beite (0,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter), bebyggelse (2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter) og annen utmark (2 500 tonn CO₂-ekvivalenter). Opptaket var, som det framgår av Figur 4-60, vesentlig større. Arealkategorien skog hadde i 2012 et netto opptak på 30,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, mens opptaket i arealbrukskategorien vann og myr var på mer beskjedne 51 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

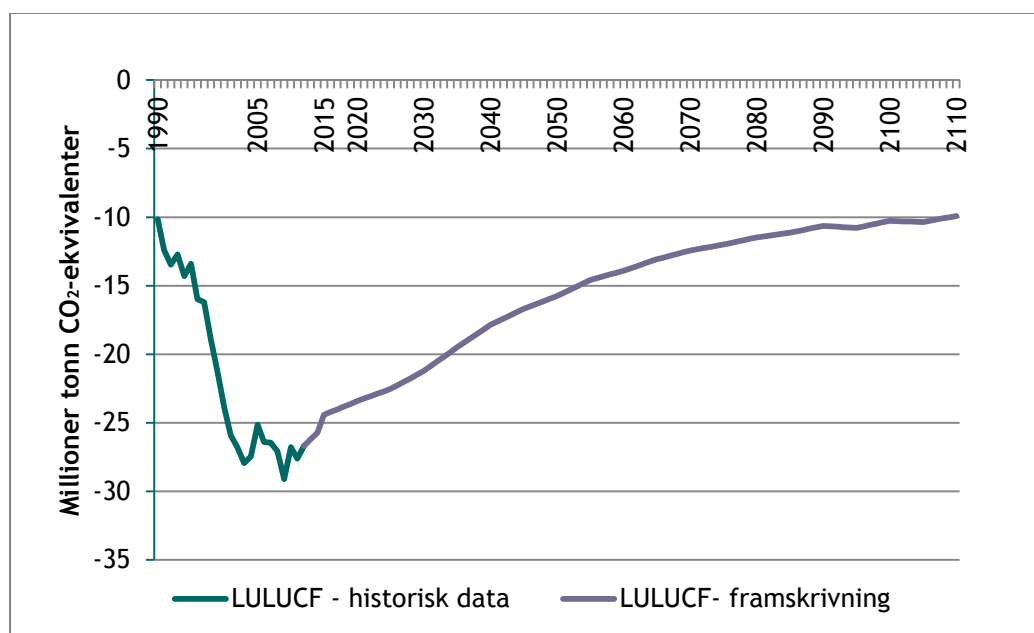
Tilveksten i skogen har økt som følge av intensiv planting av skog i tiårene etter 2. verdenskrig og aktiv skogforvaltning med sikte på økt tømmerproduksjon. Avvirkningen har holdt seg stabil på rundt 10 millioner kubikkmeter i året. Dette har ført til en markant økning i det årlige karbonopptaket i norske skoger. Opptaket har vært spesielt høyt de siste 15 - 20 årene.

Regnskapet som årlig rapporteres inn til FNs Klimakonvensjon inkluderer alle utslipp og alt opptak av klimagasser i skog og andre arealkategorier. Når et tre hogges, regnskapsføres hele treets karboninnhold som et utslipp samme året, mens tilveksten i gjenværende bestand og foryngelsen samme år regnskapsføres som årlig opptak ettersom treet vokser. Utslipp relatert til avskoging inngår som en del av de andre arealkategoriene (den arealkategorien skogarealet konverteres til). I 2012 var utslippet fra avskoging (arealbruksendring fra arealkategorien skog) på 2,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, tilsvarende 4,4 prosent av Norges totale utslipp (Miljødirektoratet et al., 2014a).

Framskrivinger mot 2100

I kapittel 4.1.2.6 viste vi forventet utvikling i opptak og utslipp fra sektoren dersom nye tiltak ikke iverksettes. Framskrivingene viser at sektoren, med dagens aktivitet, vil fortsette å ha et årlig opptak de neste 100 år, men at årlig opptak vil avta utover i århundret (Søgaard, et al., 2014). Skogarealer vil også i framtiden være den viktigste arealkategorien for opptak av klimagasser. Vann og myrer er forventet å fortsatt bidra til netto opptak, mens det forventes fortsatt utslipp fra arealkategoriene dyrket mark, beite og bebyggelse. Det er forventet at arealkategorien bebyggelse øker betraktelig (relativt sett) utover i århundret, mens det blir mindre dyrket mark. Det er også forventet at skogarealet blir mindre, selv om den relative endringen ikke vil være stor.

Figur 4-61 viser netto CO₂-utslipp fra sektoren skog og andre landarealer. Se figur 4-2 for en oversikt over hvordan utslippet fordeler seg på de ulike arealkategoriene.



Figur 4-61 Netto CO₂ utslipp fra sektoren skog og andre landarealer (CO₂-ekvivalenter). Historiske tall fram til 2012 og framskrivinger fra 2013 og fram til 2110. Dagens klima er lagt til grunn.

Figur 4-61 viser at nettoopptaket i sektoren (dagens klima lagt til grunn) vil være på drøyt 21 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030, mens det i 2050 forventes et netto opptak på snaut 16 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. I 2100 forventes et netto opptak på drøyt 10 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Til sammenligning forventer en et netto opptak i skog på drøyt 25 millioner tonn CO₂ i 2030, drøyt 19 millioner tonn CO₂ i 2050 og drøyt 13 millioner tonn CO₂ i 2100. Nedgangen i netto opptaket skyldes en kombinasjon av skogens alderssammensetning og økende hogstaktivitet. Framskrivingene legger til grunn at skog som er 1) hogstmoden og 2) er innen rimelig avstand til vei, vil avvirkes.

Også med klimaendringer (økende temperatur og nedbørsmengder) forventes det at opptaket i sektoren for skog og andre landarealer vil reduseres betydelig over de neste 100 årene, selv om netto opptaket vil være høyere enn i scenariene hvor dagens klima er lagt til grunn. Det er først etter 2060 vi forventer større endringer som følge av klimaendringer. Det er verdt å merke seg at et endret klima også kan øke risikoen for naturlige forstyrrelser som skogbrann, vindfall og insektangrep. Dette er hendelser som kan bidra til å redusere det årlige opptaket av CO₂, og som det per dags dato ikke er mulig å inkorporere i framskrivingene.

4.10.3 Skog og andre landarealer i et lavutslippssamfunn

Skog og andre landarealer kan spille ulike roller i Norge som et lavutslippssamfunn. Som framskrivingene for skog og andre landarealer viser, vil opptaket i sektoren reduseres betydelig utover i århundret dersom ikke ytterligere tiltak iverksettes. Man kan øke opptaket gjennom aktiv politikk særlig for skogarealene, men det er også mulig å gjennomføre tiltak som øker opptaket eller reduserer utslippet fra de andre arealbrukskategoriene. Dersom man ønsker at skogarealene skal spille en større rolle i 2050 enn den utviklingen som forventes framover, må tiltakene iverksettes i løpet av den nærmeste tiden. Dette henger sammen med at skogen i boreale områder vokser sakte. Selv med nye tiltak er det ikke gitt at man i 2050 kan holde opptaket på det nivået vi har sett på begynnelsen av det 21. århundret.

I framtiden vil vi kunne komme til å se større press på arealene enn vi har sett hittil. De arealene vi har skal levere mat, naturmangfold, skogbasert næring og bioenergi, i tillegg til at bygging av boliger og infrastruktur vil være arealkrevende. Sektorens rolle i lavutslippssamfunnet må henge sammen med de øvrige behovene for areal (jamfør bl.a. kapittel 3.8 Arealutfordringer og kapittel 4.9 Jordbruk). Prioritering mellom ulike behov og mål for bruk av arealer vil kunne bli et viktigere og vanskeligere spørsmål i framtiden enn det har vært hittil.

Historisk har den største endringen i arealbruk vært fra skog til bebyggelse (98 kha fra 1990 til 2012), mens det fra kategoriene dyrket mark til bebyggelse, skog til beite, beite til skog og bebyggelse til skog har vært en arealbruksendring fra 1990 til 2012 på rundt 20 kha i hver arealbruksovergang (Miljødirektoratet et al., 2014a). Som pekt på over har Norge per i dag ikke ubetydelige utslipp fra avskoging (det vil si overgang fra skog til en annen arealbrukskategori). Dersom en ønsker å maksimere karbonopptaket gjennom mer arealer med skog og mer biomasse per arealenhet, bør driverne bak arealbruksendringene fra kategorien skog analyseres nærmere, for å vurdere mulige tiltak for å unngå avskoging. Dette bør være i tillegg til eventuelle tiltak på eksisterende skogarealer og andre tiltak som beskrevet under. Dersom en også har behov for å øke arealene for jordbruk (dyrket mark og beite) for å skaffe mat til en økende befolkning, bør endringer fra disse kategoriene også gjennomgå samme analyse. For dette vil målsettinger for jordbrukssektoren være viktige. Uansett vil vi forvente at klimapolitikken og arealpolitikken knyttes enda tettere sammen i et lavutslippssamfunn. En bør også merke seg at oppstyking og forringelse av arters leveområder er en viktig årsak til tap av naturmangfold. Arealendringer er den største trusselen mot det biologiske mangfoldet, og dermed også den viktigste årsaken til at arter blir så truet at de kommer på rødlista. I Norge trues hele 85 prosent av rødlisteartene av ulike typer arealendringer. Den største trusselen er utbygging, men også påvirkninger som for eksempel grøfting, drenering, deponering og uttak av masse truer det biologiske mangfoldet (Miljøstatus i Norge, 2013). I arealpolitikken kan man dermed se at hensyn til klima og hensyn til naturmangfold i mange tilfeller trekker i samme retning.

I en verden preget av klimaendringer vil vi kunne oppleve betydelige endringer i produksjonsmønsteret for varer. Jordbruksområder kan forringes, andre områder vil kanskje oppleve

bedre vekstvilkår. Kanskje man kommer i en situasjon der man i større grad ønsker eller må utnytte de matressurser som finnes i skogen i Norge, som sopp og bær. Det vil være viktig å se for seg hvordan samfunnet vil være i framtiden, når man i dag gjennomfører tiltak som vil ha effekter først på lang sikt.

Klimaendringene vil også kunne påvirke skogøkosystemet. Prognoser viser at et endret klima vil kunne ha mindre å si fram mot 2050, men at et varmere klima vil gi økt tilvekst på lengre sikt (Søgaard, et al., 2014). Det er stor sannsynlighet for at et endret klima også vil kunne øke både frekvens og intensitet av naturlige forstyrrelser som skogbrann, vindfall og billeangrep. Det kan hende vi bør gjøre grep i dag for å få kontroll over slike mulige framtidige hendelser. Større satsing på planteforedling kan være et aktuelt tiltak for å bedre tilpasse oss et klima i endring (se under).

Sektorens rolle i lavutslippssamfunnet må med andre ord henge sammen med det framtidige skogøkosystemet, hvilke behov vi vil ha for biomasse i framtiden, og hvilke andre behov arealene må dekke. Ifølge FNs klimapanelers femte hovedrapport kan det bli nødvendig å fjerne store mengder karbon fra atmosfæren, og de trekker opp to hovedscenarier for hvordan dette kan gjøres. Man kan oppnå negative utslipp ved å produsere energi fra biomasse der CO₂-utslippet fanges og lagres i bakken (CCS), eller ved å øke naturens evne til å ta opp og lagre karbon ved å plante mer skog på nye arealer.

Dersom vi forventer en overgang til "bioøkonomi" med økt etterspørsel etter bioenergi, trelast og andre produkter fra skogen, må vi sikre at skogen kan levere dette i framtiden. Slike forventninger legges til grunn i flere av scenarioene til FNs klimapanel. Dette vil kreve avvirkning med påfølgende foryngelse, siden skog som er over hogstmoden alder i mindre grad vil kunne levere slike produkter. På den annen side kan vi også komme i en situasjon mot 2050 der ny teknologi gjør at etterspørselen etter biomasse fra skogen er redusert.

4.10.3.1 Forventet tilgang på biomasse

I framskrivingene ligger det inne en forventning om at avvirkningsnivået vil øke framover, fordi mer tilgjengelig skog vil bli hogstmoden. En økt avvirkning vil gi mer tilgang på både trelast, massevirke og energivirke. Hogst gir i en periode et redusert årlig opptak av klimagasser (jf. boks om tilbakebetalingstid), samtidig som det også påvirker andre biofysiske faktorer som albedo. FNs klimapanelers diskusjoner om disse temaene munner ikke ut i en entydig konklusjon (IPCC, 2014).

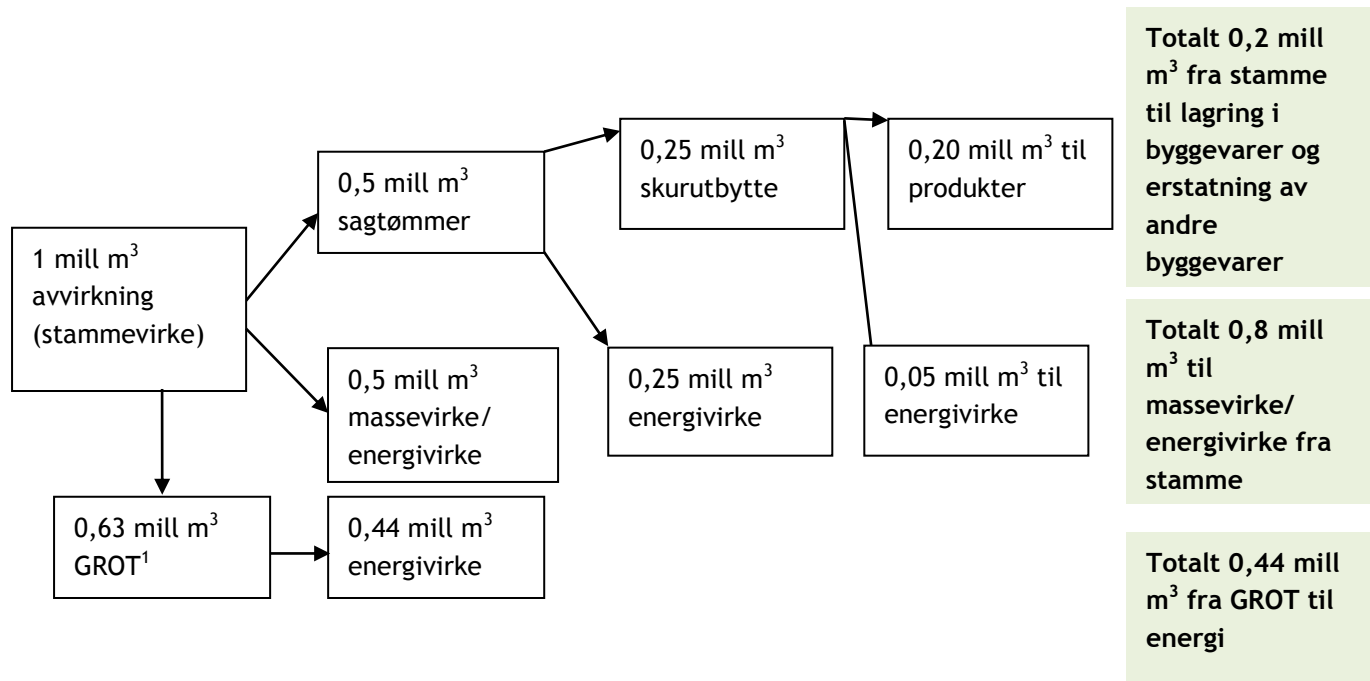
Bioenergi i form av ved er en viktig avsetningskanal for en betydelig andel av hogstvolumet (om lag 25 prosent), men det er ikke bioenergi som er driveren for avvirkning i Norge i dag. Hoveddriveren for avvirkning av skog er prisen på skurtømmer. Dette gjelder både i Norge og Sverige. Så lenge det avvirkes i Norge ut fra andre formål, er det et gunstig klimatiltak å bruke så mye som mulig av biomassen utover det som brukes som råstoff til trebearbeidingsindustrien og det som bør ligge igjen i skogen ut fra andre hensyn. Biomassen bør benyttes på en så klimagunstig måte som mulig.

En antar at 50 prosent av stammevirke går til sagtømmer, mens de resterende 50 prosent kan brukes som massevirke eller energivirke. Av sagtømmeret er det rimelig å anta at 50 prosent blir skurutbytte. Siden det oppstår flis, kapp og svinn i videreforedlingen av trelasten, antar vi at bare 20 prosent³⁸ av tømmeret blir utnyttet som byggematerialer. Gitt disse forutsetningene vil avvirkning av 1 million kubikkmeter stammevirke gi totalt 0,2 millioner kubikkmeter trelast som kan

³⁸ Ved bygging av lavenergi massivtrehus kan det tenkes at en kan nyttiggjøre seg av lavere tømmerkvaliteter til konstruksjoner med lang levetid. Det kan øke andelen treprodukter.

brukes som byggematerialer og 0,8 millioner kubikkmeter som blant annet kan brukes til energiformål. I tillegg vil avvirkningen generere 0,63 millioner kubikkmeter hogstavfall som grener og topper (GROT), nylig dødt virke, småtrær og skadet stamme (råte/krok). Deler av dette kan brukes til energiformål.

Figur 4-62 illustrerer hvor mye trelast og massevirke/energivirke som blir generert ved avvirkning av 1 million kubikkmeter stammevirke.



¹I tillegg til GROTen innholder denne størrelsen nylig dødt virke, små trær og skadet stamme (råte/ krok).

Figur 4-62 Fordeling av trevirke til produkter og til massevirke/energivirke ved avvirkning av 1 million kubikkmeter stammevirke. Kilde: (Klif, 2011).

I 2012 ble det brukt bioenergi tilsvarende 18,1 TWh i Norge. Nesten 14 TWh kom fra skogråstoff. Bruk av ved i husholdningene utgjorde 7,5 TWh, bioenergi i treindustrien 4,5 TWh og det ble produsert flis, pellets og briketter tilsvarende nesten 2 TWh (NVE, 2014a). Utenom ved blir rundtømmer i svært liten grad benyttet til energiformål. I tillegg kommer en betydelig del av den fornybare andelen av avfall som forbrennes med energigjenvinning opprinnelig fra skogen. Statistikken anses i enkelte tilfeller som relativt usikker (for eksempel for ved).

Tabell 4-37 viser forventet tilgang på biomasse fra skog og landarealer i 2020, 2030 og 2050, basert på forventet avvirkningsnivå dersom dagens klima legges til grunn. Vi viser også hvor mye biomassetilgang som forventes i et varmere klima i tråd med togradersmålet (RCP 2.6) for 2050. Det er verdt å merke seg at tabellen viser totalt hva som er tilgjengelig av biomasse fra skogen. Som nevnt over brukes om lag 14 TWh fra skogråstoff i dag. Det tilsvarer om lag 7 millioner kubikkmeter.

Tabell 4-37 Forventet tilgang på biomasse fra skog og landarealer ved dagens klima, i millioner kubikkmeter¹.

	2020	2030	2050 (RCP 2,6)
Treprodukter ²	(2,4)	(2,5)	(2,8) (3,0)
Restprodukter fra sagtømmer ³	3,6	3,8	4,2 (4,5)
Massevirke/energivirke fra stammevirke (totalt) ⁴	6	6,3	7 (7,5)
GROT og rydningsvirke ⁵	5,9	6,1	6,8
Bark ⁶	2,1	2,2	2,5
Stubber og røtter ⁷	-	-	-
Total skogbiomasse til energiformål ⁸	17,6	18,5	20,4 (21,8)

1) Framskrivninger av avvirkningsnivå der dagens klima er lagt til grunn (Søgaard, et al., 2014). RCP 2.6 representerer økt temperatur i tråd med togradersmålet.

2) Det antas at 20 prosent av stammevirket kan benyttes som treprodukter.

3) Det er antatt at skurandelen av sagtømmeret er 50 prosent. De resterende 50 prosent kan brukes til energiformål. I tillegg er det avkapp, flis etc. fra videreforedlingen av trelasten som antas tilgjengelig for energiformål.

4) Det antas at 50 prosent av stammevirket er av massevirke kvalitet. Alt massevirke kan være aktuelt til energiformål. Per i dag blir massevirke i svært liten grad benyttet direkte til energiformål.

5) GROT og tynningsvirke antas å være tilgjengelig for energiformål. Det tas utgangspunkt i at 70 prosent av GROTen kan høstes.

6) Barkvolum antas å være 15 prosent av stammevolum.

7) Det er lagt til grunn at stubber og røtter ikke vil bli benyttet, på grunn av miljøhensyn og kostnader.

8) Tallet for total skogbiomasse inkluderer ikke biomasse med kvalitet til å bli treprodukter.

Fra Tabell 4-37 ser vi at tilgangen til biomasse fra skogen til energiformål og andre formål er betydelig. Tilgang på biomasse til energiformål avhenger i hovedsak av nivået på avvirkningen, hvilke fraksjoner som tas ut av skogen og til sist hvordan man velger å fordele bruken av råstoff mellom energiformål og andre formål. Gitt forutsetningene som er lagt til grunn i tabellen over kan man forvente årlig tilgang på rundt 17,6-20,4 millioner kubikkmeter massevirke/energivirke i perioden 2020 - 2050. Basert på en forutsetning om at 1 million kubikkmeter gir 2 TWh, vil dette kunne utgjøre 35-41 TWh dersom alt nyttes til energiformål. Det er 21-27 TWh mer enn det som brukes i dag. Slik markedet ser ut i dag, er det ofte bedre betalt for massevirke enn for energivirke. Det er imidlertid vanskelig å si noe om hvordan markedet og virkestrømmene vil bli framover.

Det største umiddelbare potensialet for å øke biomassetilgangen ligger i å ta i bruk mer hogstavfall. Dette er biomasse som i dag høstes i liten grad. Energipotensialet ved høsting av grener og toppler (GROT) og rydningsvirke er i størrelsesorden 12 TWh. Det er imidlertid viktig å merke seg at med dagens rammebetingelser er det bare en mindre del av dette volumet som kan tas ut med lønnsomhet.

Det understrekes at potensialene som presenteres er usikre, og at det realistiske potensialet vil

avhenge av hvilke økonomiske forutsetninger som legges til grunn. NVE (2014) har beregnet at potensialet for økt uttak av biomasse til energiformål i 2020 innenfor en flispris levert på anlegg på 30 øre per kWh vil være 8,4 TWh, ved et forventet avvirkningsnivå på 12 millioner kubikkmeter. Dette vil kunne gi et totalt forbruk av biomasse basert på ressurser fra skogen på vel 22 TWh i 2020³⁹. NVE inkluderer også 1 TWh fra stubber og røtter, men sier at det er lite realistisk at dette vil anvendes mot 2020.

I et samfunn med økt etterspørsel etter bioenergi, vil det internasjonale tømmermarkedet endres fra dagens marked. En høyere etterspørsel på biomasse til energiformål vil kunne endre prisen på energivirke. Det gjør at vi i framtiden kan komme til å se endringer i virkestrømmen, der også massevirke benyttes som bioenergi. Dersom prisen blir høy nok kan det også føre til økt avvirkningsnivå.

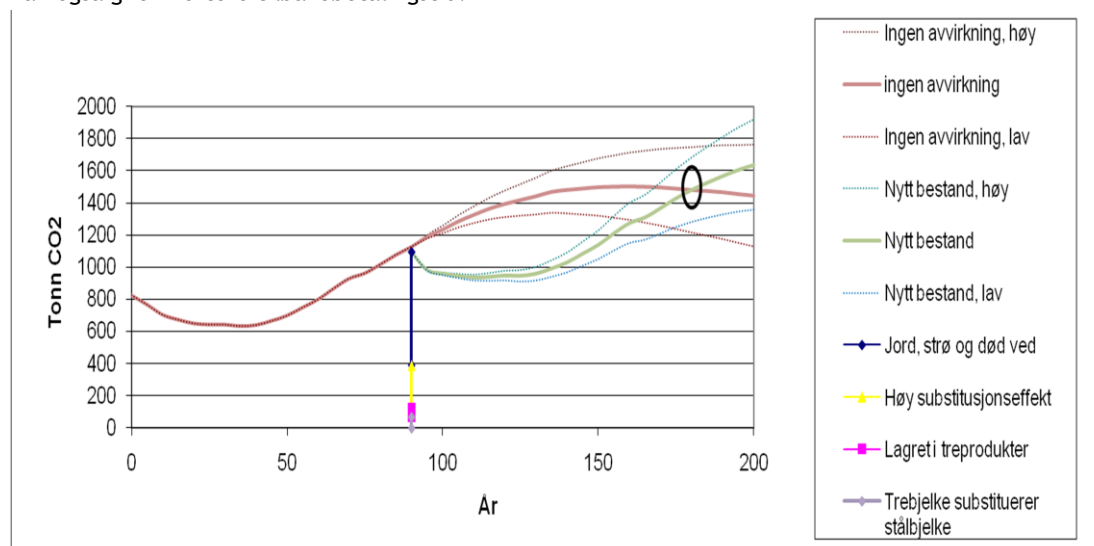
Dersom tilgangen på biomasse i et business-as-usual scenario ikke er tilstrekkelig til å dekke behovene i et lavutslippssamfunn, må man vurdere konsekvenser relatert til økt tilgang nasjonalt i form av økt avvirkning opp mot konsekvenser ved import av biomasse. Uttaket i framskrivingene er mindre enn nasjonalt balansekvantum. Det vil si at avvirkningen kan økes uten at uttaket må reduseres i framtida. Samtidig vil økt uttak påvirke andre miljø- og naturverdier.

³⁹ Ressurspotensialet ligger i hovedsak i bruk av GROT og stubber og røtter. Rundvirke utgjør 0,3 TWh, og viser til en reallokering av massevirke som i dag går til treforedlingsindustrien. I tillegg er ressurser fra landskapspleie og rydding inkludert.

Tilbakebetalingstid

Avvirkning og forbrenning av trevirke vil gi et utslipp av klimagasser til atmosfæren. Det vil være en tidsforskyvning til dette utslippet er tatt opp igjen av ny skog som plantes etter avvirkning (tilbakebetalingstid).

Modellberegninger presentert i rapporten Skog som biomasseressurs (Klif, 2011) viste at tilbakebetalingstiden ved avvirkning av ett bestand og beste anvendelse av biomassen vil være rundt 90 år (figur 1). Skogskjøtselstiltak vil gi en større tilvekstrate, raskere karbonlagring og dermed kortere tilbakebetalingstid. Forlenget omløpstad utover det som er økonomisk optimalt for skogeier, kan også gi en kortere tilbakebetalingstid.



Figur 1. Utvikling av karbonlager (uttrykt som tonn CO₂ per hektar) i levende biomasse, jord, strø og død ved gitt avvirkning med uttak av GROT- kombinert med utslippsreduksjon ved substitusjon - høy substitusjonseffekt, lagring i treprodukter og erstatning av stålbejelke. Kilde: Norsk institutt for skog og landskap/ Klima- og forurensningsdirektoratet.

Også andre har sett på tilbakebetalingstid ved avvirkning av skog og utnyttelse av biomasse fra skogen. En studie som så på tilbakebetalingstiden ved permanent økt avvirkning av boreal skog for bioenergiformål, fant at tilbakebetalingstiden kan være 150-230 år, avhengig av hvordan biomassen anvendes (Holtsmark, 2010).

4.10.4 Tiltaksanalyse mot 2030

Mulige tiltak for økt opptak og redusert utslipp

Framskrivningene viser at selv om vi fortsatt vil ha et årlig opptak av klimagasser i sektoren i framtiden, så kan vi forvente en nedadgående trend. Skogen i boreale områder vokser sakte. Dersom man ønsker å sikre et høyere opptak i skogen i framtiden må man derfor gjennomføre tiltak i dag. Noen tiltak som gir stort opptak på lang sikt, vil kunne gi utslipp på kort sikt. Det er derfor viktig å se hvor vi vil være på lengre sikt når vi i dag bestemmer hvilke tiltak som vil være fornuftige å implementere. FNs klimapanel trekker fram skogskjøtsel og etablering av skog på nye arealer som spesielt viktig i OECD-1990, EIT og Asia (IPCC, 2014). Samtidig viser FNs klimapanel også til at det i OECD-regionen er viktig at land ser at det kan være å foretrekke å bevare noen områder med gammel skog som karbonlagre, og at skjøttet skog kan være kilde til utslipp i flere tiår. I et videre perspektiv vil også den samlede effekten av ulike skogtiltak avhenge av hvordan biomassen som avvirknes anvendes. Tiltak i de andre arealkategoriene vil ha effekt på kortere sikt.

Under vil vi kort gå igjennom mulige tiltak som kan bidra til økt opptak og redusert utslipp i sektoren. Vurderingene er basert på Klimakur 2020 og analyser som er blitt gjort i ettertid. Det betyr at analysen har hovedfokus på opptak og utslipp av CO₂ i levende biomasse. Vi har ikke gjort nye beregninger i denne rapporten for å bedre ta hensyn til karbon i jord og andre klimadrivere. Det vil si at tiltaksanalysene vi kunne bli revidert til neste leveranse i februar. Tabell 4-38 oppsummerer tiltakene skissert i dette kapittelet.

Mulige tiltak i arealkategorien skog

Skogen er arealkategorien med størst netto opptak av klimagasser i Norge i dag og det er her vi kan finne tiltakene med størst potensial for å øke opptaket fremover. Man kan dele tiltakene inn i tre hovedkategorier: 1) tiltak for å øke det produktive skogarealet, 2) tiltak for å opprettholde eller øke opptaket på eksisterende skogarealer, og 3) tiltak som reduserer utslipp av klimagasser i andre sektorer gjennom substitusjon av karbonintensive produkter. Felles for alle tiltakene er at effekten vil avhenge av tiltakets omfang.

I den første kategorien (tiltak for å øke det produktive skogarealet) finner vi tiltakene redusert avskoging og planting av skog på nye arealer. **Avskoging** har tradisjonelt ikke vært sett på som et stort problem i Norge, selv om det er skogarealer som årlig omdisponeres til andre formål enn skog. Reduksjon av det årlige avskogingsarealet vil gi umiddelbare effekter på klimagassregnskapet.

Planting av skog på nye arealer er et tiltak som, avhengig av hvilke arealer tiltaket gjennomføres på, kan gi utslipp på kort sikt. På lang sikt kan opptaket være stort, avhengig av tiltakets omfang (Miljødirektoratet et al., 2013). Arealer som tidligere har vært benyttet til dyrka mark, beite eller slått, og som ikke lenger holdes i hevd, vil kunne bli definert som skog allerede i tidlige stadier av gjengroing. Dersom det plantes på gjengroingsarealer vil tiltaket derfor i prinsippet være **treslagsskifte** på eksisterende skogarealer.

Ved planting av skog på nye arealer vil gran gi størst volumproduksjon per dekar, sammenlignet med bjørkeskog, annen lauvskog og furuskog (Miljødirektoratet et al., 2013). Et alternativ til å plante granskog kan være å forynge gran under en skjerm av bjørk (**etablering av blandingsskog med bjørk og gran**). Bjørkeskog har en høyere årlig tilvekstrate i tidlig alder sammenlignet med granskog. Ved å kombinere disse to treslagene vil en la bjørkeskogen vokse i den perioden grana bruker på å etablere seg og har lav tilvekstrate, slik at effekten av tiltaket kommer tidligere. Etablering av blandingsskog kan også fungere som et avbøtende tiltak på arealer der planting av gran vil gi negative effekter på naturmangfold. Eventuell bruk av utenlandske treslag til skogbruksformål reguleres av egen forskrift, og vi omtaler ikke dette nærmere her.

Ved skogbruksaktivitet som fører til økning i jordtemperatur og mekanisk forstyrrelse av jorda, kan man forvente karbontap fra jorda. Markberedning gjøres for å oppnå bedre og raskere foryngelse, som vil gi raskere økning i opptak fra den levende biomassen i den nye skogen. Effekten på karbon i skogsjorda vil være avhengig av omfanget av markberedning og valg av metode. Ved å gjennomføre en **skånsom markberedning** kan man redusere tap av karbon fra jord. Dette er et tiltak som kan gjennomføres både på eksisterende og nye skogarealer.

Den andre kategorien (tiltak for å opprettholde eller øke opptaket på eksisterende skogarealer) består av tiltak som nitrogen gjødsling av skog, skogplanteforedling og økt plantetetthet. En gangs **gjødsling** med nitrogen vil gi full effekt i løpet av 10 år (Miljødirektoratet et al., 2014b). Det er mest aktuelt å gjødsle skog i hogstklasse IV, og for maksimal effekt på nasjonalt nivå bør nye arealer gjødsles hvert år etter hvert som disse kommer i riktig alder. **Skogplanteforedling og økt plantetetthet** vil først gi økt opptak på lengre sikt. De to sistnevnte er også tiltak som bare kan gjennomføres ved etablering av skog, enten som foryngelse etter hogst eller ved etablering av skog

på nye arealer. Det er to komplementære måter å fremme økt plantetetthet på. Man bør sikre seg at foryngelsesplikten oppfylles. Skogeiers økonomiske resultat etter en hogst påvirker investeringsviljen til å forynge ny skog etter hogst. Det har derfor vært en tendens til at gjennomsnittlig planteantall i foryngelseskontrollen ligger lavere enn hva som er anbefalt som minimumsnivå ut fra hensyn til optimal skogproduksjon. Optimalt planteantall ut fra klimahensyn vil vanligvis være høyere enn det som er næringsmessig optimalt. I tillegg til å sikre at minstekravet i foryngelsesplikten oppfylles, kan man se på muligheter for å øke planteantallet til nivåer som er optimalt i et klimaperspektiv. Skogplanteforedling innebærer å velge ut planter for planteproduksjon som er mer robuste og gir høyere produksjon enn bestandsfrø. Man kan også sikre klimatilpassede plantematerialer som vil tåle et endret klima. Dette vil være planter som vokser raskt, er motstandsdyktige mot billeangrep og andre skader, og har mye biomasse.

Gjødsling av torvmark med aske fra biobrenselanlegg kan også øke skogens tilvekst (Miljødirektoratet et al., 2014b). Det er ikke tillatt å spre aske i skog i dag. Eventuell bruk av aske til gjødsling vil kunne bli regulert av "Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav". Forskriften er under revisjon.

Andre tiltak som kan bidra til økt opptak på eksisterende skogarealer er valg av hogsttidspunkt. Ut ifra et næringsperspektiv, er skogen hogstmoden når den er i hogstklasse V (60-120 år avhengig av bonitet og treslag). Skogen vil kunne fortsette å ta opp karbon etter dette tidspunktet. Ut fra et klimaperspektiv vil derfor optimalt avvirkningstidspunkt ligge 20-50 år etter normal omløpstid, avhengig av treslag og bonitet. Noen skogeiere velger også å avvirke skogen i tidligere hogstklasser (hogstklasse III og IV). I et klimaperspektiv er dette ikke hensiktsmessig, spesielt ikke når skogen er i en sterk vekstfase. **Forlenget omløpstid og forbud mot hogst i produksjonsskog som ikke enda er hogstmoden** (hogstklasse III og IV) er to tiltak som kan bidra til et optimalt hogsttidspunkt i klimaperspektiv. Det er imidlertid også andre hensyn som må vurderes her, slik som stormstabilitet og risiko for råde i eldre skog og behov for trevirke på kort sikt. I tillegg kan **mer optimal ungsogpleie** gjennom å fjerne overstandere eller skjerm som hemmer framtidsskogen, eller prioritere optimale treslag, nevnes. Dette er et tiltak som kan bidra til en skog med høyere sagtømmerandel. Tiltaket kan derfor også sies å virke gjennom substitusjonseffekten, og hører derfor også hjemme i den tredje kategorien (se under).

Skogvern er et tiltak hvor det er usikkert hvor stort meropptaket av CO₂ vil være, men som kan bidra til å bevare karbonlageret i skogen. IPCC viser i sin siste hovedrapport (IPCC, 2014) til den vitenskapelige diskusjonen rundt karbonmetning i (gammel) skog, kalt "saturation". Det vises til noen studier som peker på at økosystemet når et metningspunkt, hvor summen av opptak i levende biomasse og utslipp fra død biomasse er null. Samtidig vises det til andre studier som peker på at gammel skog kan fortsette å være en "sink" for karbon i jord og dødt organisk materiale selv om netto tilvekst i levende biomasse er nær null. Tiltakets effekt er avhengig av hvordan det implementeres, det vil si hvilken type skog og hvilken aldersklasse som vernes.

Den tredje kategorien tiltak er som nevnt tiltak som reduserer utslipp av klimagasser i andre sektorer gjennom substitusjon av karbonintensive produkter. Produkter fra skog kan brukes til å erstatte bruk av fossil energi direkte (bioenergi), til å lagre karbon i langlevde produkter eller ved å erstatte produkter som er energikrevende i produksjon. Tilgang på ressurser fra skogen vil i stor grad avhenge av avvirkningsnivået. Framskrivningene viser at avvirkningsnivået er antatt å øke. Dette vil gi økt tilgang på stammevirke og grener og toppe (GROT) som kan benyttes til ulike formål. GROTen vil alternativt ligge igjen på hogstmarka, der det vil brytes ned og frigi CO₂. I et klimaperspektiv kan det være hensiktsmessig å **øke mengden GROT** som benyttes.

Økt uttak gjennom **tynning** vil også kunne gi mer virke til bioenergi i dag, og bedre kvalitet på framtidsskogen og dermed høyere substitusjon senere. Samtidig vil man ved tynning kunne høste en del virke som ellers ville gått tapt gjennom selvtynning. Tynning vil også gi tilgang på virke tidligere i bestandens liv. Særlig i områder hvor en ligger tett på balansekvantum (for eksempel Hedmark og Akershus) kan tynning være med på gi tilgang på mer virke på kort sikt. Det er imidlertid viktig å merke seg at tynning også vil påvirke den totale mengden biomasse i et bestand. Effekten på tilveksten av tynning avhenger av utgangstetthet, tynningsmetode, tynningsgrad og antall tynninger gjennom omløpet.

Mulige tiltak i de andre arealkategoriene

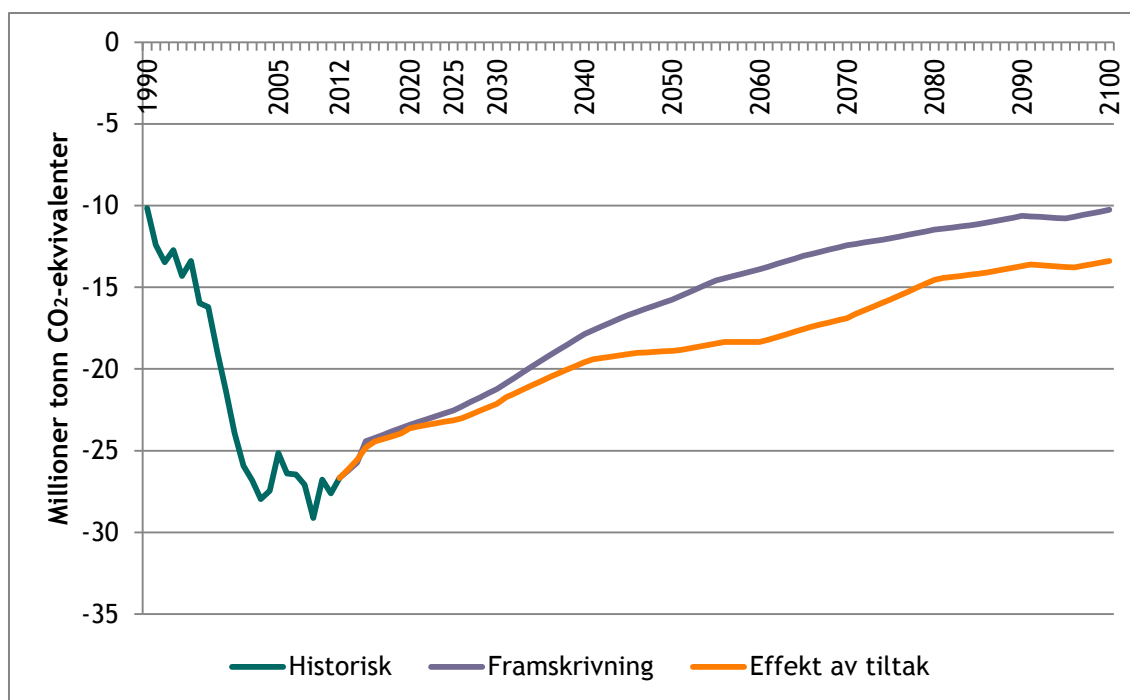
I tidligere analyser er det stort sett arealkategorien skog som har fått størst fokus, og det er også denne arealkategorien som har vært inkludert i utslippsforpliktelsen under Kyotoprotokollen. I en senere klimaavtale etter 2020, kan det også være aktuelt å inkludere de andre arealkategoriene. De fleste andre arealkategoriene har et årlig utslipp av klimagasser, men det er mulig å gjennomføre tiltak som reduserer dette utslippet. FNs klimapanel viser til tiltak som mindre intensiv pløying, la jordbruksarealer gro igjen med stedegne vekster, tiltak knyttet til myr og våtmarker, og jordforvaltning/-restaurering (IPCC, 2014).

Noen av tiltakene som er beskrevet for jordbrukssektoren (kapittel 4.9) vil føre til endringer i utslipp og opptak av CO₂ fra jord og skogsbiomasse. Økte utslipp kommer for eksempel fra omlegging av driften fra gras- til kornproduksjon eller at det trengs nye dyrkede arealer som går på bekostning av skog. Om nettoeffekten av tiltaket er økt opptak eller økt utslipp av CO₂ vil være avhengig av hvilket areal det sammenlignes med. For eksempel vil stans i nydyrking av myr føre til at nye dyrkede arealer må legges til andre arealtyper. Selv om nydyrking da kan føre til avskoging vil tiltaket likevel gi en netto utslippsreduksjon, fordi tapt karbonopptak i skog vil være lavere enn det unngåtte utslippet fra dyrket myr. Tiltak i jordbrukssektoren som fører til omlegging eller arealbruksendring vil føre til redusert utslipp av om lag 215 000 tonn CO₂ i sektoren skog og landareal i 2030. Disse utslippsreduksjonene kommer fra tiltakene *stans i nydyrking av myr, mindre matsvinn og rødt til hvitt kjøtt*, som er nærmere omtalt i kapittelet om jordbruk. Det er forventet at den samlede effekten i sektoren for skog og andre landarealer av omleggingen av jordbruket til et lavutslippsamfunn vil være enda større i 2050.

Utslippsreduksjoner og tiltakskostnader

Figur 4-63 viser at vi ikke kan forvente store endringer i årlig opptak fra skog og landarealer de første årene. Mot 2050 vil skogtiltakene vi har kvantifisert kunne gi rundt 3 millioner tonn CO₂ i økt opptak. Dette kan leses ut fra Figur 4-63 ved å se forskjellen mellom kurvene "Framskrivning" og "Effekt av tiltak". Tiltakene som er kvantifisert er *plantning av skog på nye arealer, økt plantetetthet på eksisterende skogarealer, skogplanteforedling, og gjødsling av skog*. Vi ønsker å presisere at dette er tall som kan endres til neste leveranse i februar 2015. Det må også understrekes at vi ikke har hatt mulighet til å kvantifisere effekten av de øvrige tiltakene innenfor rammene av dette prosjektet. Dette vil vi, så langt det er mulig, forsøke å gjøre til leveransen i februar.

Det er viktig å merke seg at effekten av tiltakene til syvende og sist vil avhenge av faktisk omfang, der omfanget blant annet vil avhenge av avveininger mellom mulige målkonflikter med naturmangfold og andre miljøverdier. I figuren har vi lagt til grunn at tiltakene implementeres i 2015. Dersom det ikke blir tilfelle, vil effekten forskyves tilsvarende.



Figur 4-63 Effekt av kvantifiserte tiltak sammenlignet med referansebanen.

Klimakur 2020 viste at de fleste skogtiltakene er relativt rimelige, dersom man ser det over et skogomløp. Felles for de fleste tiltakene er at de vil ha en årlig kostnad over en periode når de implementeres, og at effekten i form av økt opptak vil komme på lengre sikt. Tiltakskostnaden målt i koner per tonn CO₂-ekvivalenter vil være høyere på kortere sikt, siden tiltakene da ikke har oppnådd full effekt. For detaljer om hvert enkelt tiltak, se Tabell 4-38.

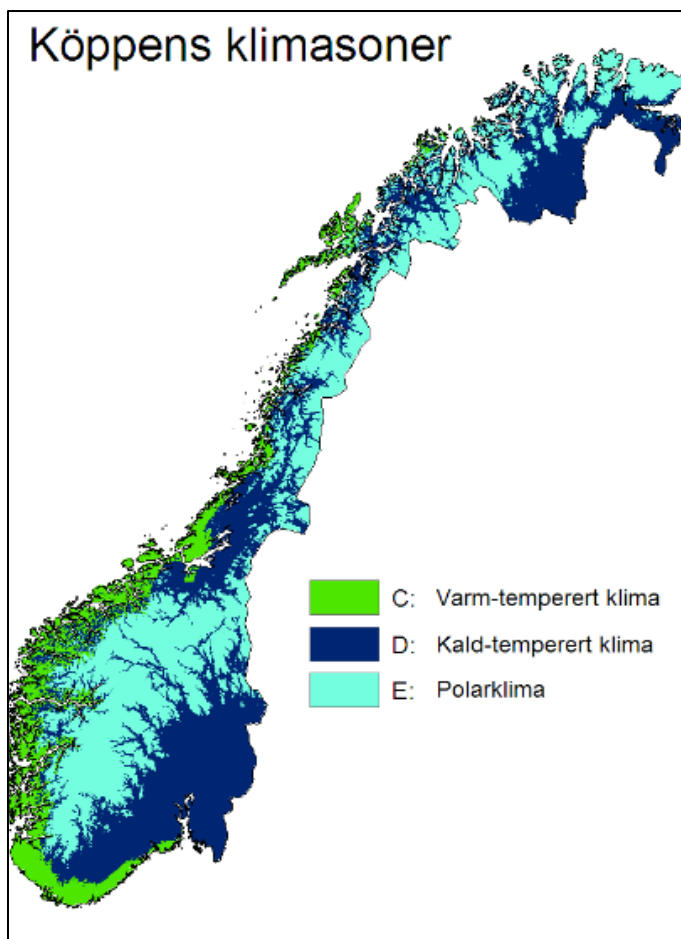
Karbon i jord

Tiltaksanalysen fra Klimakur 2020 vurderte bare endring i karbonopptak i levende biomasse, og ikke hvordan karbondynamikken i jorda ville kunne bli påvirket av tiltakene (Klif, 2010a). Den største andel av karbonlageret i skogarealene i Norge er i jorden, mens de største årlige fluxene (variasjonene i utslipp/opptak) er i den levende biomassen. Det er viktig å vite hvordan tiltak vil kunne påvirke karbondynamikken i jorden for å være sikker på at tiltakene gir økt netto opptak. Det vi vet om karbon i jord og endringer i dette er basert på komplekse modellverktøy. Vi har til denne leveransen ikke hatt mulighet til å kvantifisere effektene på karbon i jord. I Tabell 4-38 vil vi imidlertid indikere hvorvidt karbon i jord vil kunne påvirkes av de enkelte tiltakene.

Andre klimaeffekter

Når en skal vurdere effekten til et tiltak må en se på den totale klimaeffekten, ikke bare økt karbonopptak eller lagring i biomasse. Effekter knyttet til biofysiske faktorer som albedo (se faktaboks), evapotranspirasjon (se faktaboks) og aerosoler (se faktaboks) er mindre kjente, men viktige for den samlede klimaeffekten. Innvirkningen av disse vil kunne variere mellom de ulike tiltakene beskrevet over, og mellom ulike geografiske lokaliteter. Det er derfor nødvendig å vurdere totaleffekten av et tiltak ikke bare på nasjonalt nivå, men også på lokalt nivå, før iverksettelse.

Generelt kan vi si at tiltak som påvirker vegetasjonen på arealet kan gi endret albedoeffekt. Tiltak som gir mer åpne arealer vil reflektere mer sollys og gi avkjølende effekt, mens tiltak som gir mer vegetasjon/kronedekke vil reflektere mindre sollys og gi oppvarmende effekt. Det er likevel regionale/geografiske forskjeller. Norge kan grovt deles inn i tre klimasoner - varm-temperert klima, kald-temperert klima og polarklima (se Figur 4-64).



Figur 4-64 Köppens klimasoner. Kilde: met.no.

I et område med polarklima er det sannsynlig at albedoeffekten vil være viktig, siden det er områder med snødekke store deler av året. I det varmtempererte klimaet langs kysten, vil albedo sannsynligvis være mindre viktig, spesielt i områdene der det er lite eller ingen snø. Usikkerheten med hensyn til den totale klimaeffekten av tiltak vil på generelt grunnlag trolig være størst i områdene med kaldtemperert klima. Innenfor de enkelte områdene vil det være lokale forhold som gjør at tiltak totalt sett kommer godt ut, mens andre ikke gjør det.

Tiltak som påvirker vegetasjonen vil også påvirke evapotranspirasjonen og aerosoler. Mer skog fører til større evapotranspirasjon og mer aerosoler som begge gir avkjølende effekt. Det er imidlertid usikkert hva som vil være nettoeffekten av de ulike biofysiske faktorene. Det kan antas at på våre breddegrader, spesielt i områder med snø, vil evapotranspirasjonseffekten være lavere enn albedoeffekten.

I Tabell 4-38 under har vi indikert hvorvidt de biofysiske faktorene vil være et moment som bør vurderes for det enkelte tiltak. I prinsippet vil alle tiltak kunne gi andre klimaeffekter enn endret opptak eller utslipp av klimagasser. Tiltakene som gir endringer i vegetasjon sammenlignet med referansebanen, har størst sannsynlighet for også å gi endringer i de biofysiske faktorene. Disse er markert med "X" i tabellen. Noen tiltak vil ikke gi direkte endring i vegetasjon sammenlignet med referansebanen, men det vil være en tidsforskyvning i forhold til hva som er vanlig praksis i dag. Disse er markert i tabellen med "(X)". De øvrige skogtiltakene vil gi mer biomasse, men det er fortsatt usikkert hvordan de biofysiske faktorene vil bli påvirket av dette.

Albedoeffekten - refleksjon av kortbølget innstråling

Albedo angir hvor stor andel av den innkommende solstrålingen som treffer en overflate som blir reflektert tilbake, og den vil alltid ha en verdi mellom 0 og 1. Når en overflate har en albedo på 0,10, vil det si at 10 prosent av sollyset blir reflektert tilbake, mens 90 prosent blir absorbert av overflaten. En lys overflate (som for eksempel snødekte områder) reflekterer mye av sollyset, og har dermed en høy albedo. En mørk overflate vil absorbere mye sollys, og vil dermed ha en lav albedo. Et skogkledd landskap vil typisk ha lavere albedo enn et åpent landskap, spesielt i områder med langvarig snødekke. Barskog vil ofte ha lavere albedo enn lauvskog. En overflate med høy albedo har en mer avkjølende effekt på lufttemperaturen nær bakken enn en overflate med lav albedo. Selv om forskjellen i albedo mellom skogkledd og åpent landskap er størst om vinteren, ser en også en viss differanse på sommerstid.

Flere faktorer påvirker bakkealbedoen. Regionale forhold som nedbør, skydekke, temperatur og vind etc. og lokale variabler som varmeoverføring og gassutveksling mellom jord, vegetasjon og/eller overflatevann, vil påvirke den sesongvise og årlige albedoeffekten ved blant annet endringer i snødekkets utbredelse, dybde og struktur. I tillegg vil sollysets innstrålingsretning (senitvinkel) påvirke albedoen.

Eksempelvis vil albedo fra snødekte hogstflater i nordlige barskogområder på kort sikt kunne trekke i retning av å motvirke og i noen tilfeller oppveie drivhuseffekten av den mengde CO₂ som er frigjort fra de samme arealene ved avvirking. Den totale effekten på lengre sikt vil avhenge av hvordan trevirket anvendes (Bright, Strømman, & Peters, 2011). Likeledes kan albedoeffekten trekke i motsatt retning for økt tilplanting av arealer som ellers ville hatt et hvitt snødekke om vinteren og for treslagsskifte fra lauvskog til barskog.

Analyser som er gjort på norsk skog viser at albedoeffekten er viktig. Det er imidlertid fortsatt usikkerheter når det gjelder beregning av albedoeffekten. Framtidig snødekke er usikkert, men forskning (RegClim) viser at vintrene i Norge vil kunne bli mildere og mindre snørike. Man kjenner heller ikke godt nok til albedoen ved ulike aldersklasser og plantetettheter. I tillegg er det usikkert hvordan blant annet endringer i fordampning av bakken og skydekke kan påvirke strålingsbalansen regionalt.

Evapotranspirasjon

Evapotranspirasjon er en prosess som finner sted i jordsmonn og vegetasjon og er en kombinasjonen av fordamping og transpirasjon. Fordampingen skjer på bakken når vann i jordsmonnet går over til vanddamp. Transpirasjon er en prosess i planter og trær når vann finner veien fra røttene til små porer på undersiden av bladene, der vannet frigis som damp til omkringliggende luft. Evapotranspirasjon bidrar til å overføre energi fra bakken til atmosfæren og har en avkjølende effekt på bakken. Faktorer som påvirker evapotranspirasjon er solinnstråling, temperatur, vind og fuktighet i jordsmonnet. Evapotranspirasjon er spesielt høy i tropene.

Eksempelvis vil avskoging redusere fordampningseffektivitet fra bakken og transpirasjonen opphører når vegetasjonen er borte. Det fører til at mindre energi blir overført fra biosfæren til atmosfæren som igjen fører til en oppvarming ved bakken sammenlignet med da skogen var der. Ved avskoging virker effekten av endret evapotranspirasjon i motsatt retning sammenlignet med effekten av albedoendringene. Hvilken effekt som dominerer avhenger av lokale forhold der avskogingen skjer, som for eksempel klima og topografi. På våre breddegrader, spesielt i områder med snø, vil evapotranspirasjonseffekten være lavere enn albedoeffekten.

Aerosoler - diffus stråling og BVOC

Aerosoler, som er små partikler i lufta, kan påvirke vegetasjonsvekst. Når sollyset treffer aerosoler vil mange av disse partiklene spre sollyset og øke den **diffuse strålingen**. I et område med mange partikler i lufta vil aerosoler spre lyset slik at vegetasjonen i samme område får økt innstråling fra flere retninger. Dette vil gi en mer effektiv fotosyntese. På grunn av en mer effektiv fotosyntese og mer vekst, vil aerosoler kunne føre til mer karbonopptak og har dermed en avkjølende effekt på klima (Mercado, et al., 2009).

Skogen produserer også partikler selv som inneholder organisk karbon, såkalte **BVOCs (Biogenic Volatile Organic Compounds)**. Hvert år blir om lag 1 prosent av karbonet som tas opp i skogen frigitt som BVOCs. Disse inngår i flere kjemiske prosesser som har en oppvarmende klimaeffekt. BVOCs produserer ozon og øker levetiden til metan som begge er drivhusgasser. I tillegg produserer reflekterende aerosoler som reduserer innkommende sollys (avkjølende effekt). Nettoeffekten av BVOCs fra skog på klima er mest sannsynlig at de bidrar til oppvarming. Ved avskoging reduseres produksjon av BVOCs som da beregnes som en avkjølende effekt. Den avkjølende klimaeffekten er i størrelsesorden sammenlignbar med den avkjølende effekten av albedo. Til sammen kan de to effektene globalt utligne den oppvarmende effekten av et redusert karbonsluk ved avskoging slik at nettoeffekten av avskoging på klima er tilnærmet null (Unger, 2014).

Virkemidler for å implementere tiltakene

En skogeiers beslutning om å investere i skogbruket beror på mange faktorer, der de viktigste kan sies å være økonomiske variable som krav til avkastning på kapital (rentekrav), driftskostnader og tømmerpris. Andre faktorer som styrer skogeiers adferd er eiendoms karakteristika, skogeiers generelle økonomi med fordeling av inntekt fra eiendom og annen lønnsinntekt, alder, bakgrunn og kompetanse. Rammevilkårene i skogbruket styres i dag i stor grad av internasjonale konjunkturer, tømmerpriser samt etterspørsel etter papir og trelast.

Selv om tiltakene beskrevet over er billige tiltak sammenlignet med tiltak i andre sektorer i et samfunnsøkonomisk perspektiv, vil de i skogeiers perspektiv ha en merkostnad uten forventning om en reell merinntekt før langt inn i framtiden, kanskje til neste generasjon(er).

Skogpolitikken består av juridiske, administrative og økonomiske virkemidler. De juridiske virkemidlene i skogpolitikken er i hovedsak gitt gjennom skogbruksloven. Skogbruksloven med tilhørende forskrifter regulerer skogbruksvirksomhet på all skogsmark. Det er knyttet en rekke

forskrifter til loven, blant annet om tilskudd til skogbruk, bærekraftig skogbruk, bruk av skogfond, skogfrøforsyning og tilskudd til skogbruksplanlegging med miljøregistreringer.

Selv om dagens skogpolitikk ikke har vært begrunnet i klimahensyn, kan flere eksisterende virkemidler, eventuelt med noen justeringer, bidra til å utløse deler av potensialet som er beskrevet i tiltaksanalysen.

Også naturmangfoldloven har regler som legger rammer for skogpolitikken. Dette gjelder blant annet generelle miljøprinsipper, forskrift om utsetting av utenlandske treslag, forskrift om prioriterte arter og utvalgte naturtyper, samt regler for områdevern. I tillegg gjelder den frivillige standarden for bærekraftig skogbruk (Norsk PEFC Skogstandard) for store deler av skogbruket. Den ble utviklet gjennom samarbeidsprosjektet Levende Skog og er operasjonalisert gjennom sertifisering av skogbruket. Plan- og bygningsloven med forskrifter og kulturminneloven vil også sette føringer for noen av tiltakene som foreslås.

For enkelte tiltak vil det være behov for kartlegging og veiledning/kriterier for å sikre at tiltaket ikke gjennomføres på en slik måte at det skjer på bekostning av andre miljøverdier. Implementeringen av disse tiltakene vil derfor innebære administrative kostnader. Valg av kriterier vil i flere tilfeller bestemme tiltakets mulige omfang.

Oppsummering

Tabell 4-38 gir en skjematisk oversikt over de ulike tiltakene beskrevet over. Tabellen tar ikke for seg tiltakene i den tredje kategorien (tiltak som reduserer utslipp av klimagasser i andre sektorer gjennom substitusjon av karbonintensive produkter). Disse tiltakene er av en annen karakter og krever ytterligere vurderinger før vi kan kvantifisere dem. Tiltakene vil i tillegg gi effekter i andre sektorer. Tallene som gjengis i tabellen er fra Klimakur 2020 og senere analyser.

Tabell 4-38 Oversikt over mulige klimatiltak i sektoren skog og andre landarealer.

Klimatiltak i sektoren skog og landarealer	Effekt av tiltaket, 1) Utslippsreduksjoner i 1000 tonn CO ₂ . Negative tall betyr økt opptak/reduerte utslipp.				Kostnads-kategori, 2)	Gjennom-førbarhet, 3)	Karbon i jord	Andre klimaeffekter (albedo, aerosoler evapotranspirasjon)	Kilde
	2025	2030	2050	2100					
Arealbruksendring:									
Planting av skog på nye arealer (1 million dekar)	9	-138	-1806	-990	lav	Middels krevende	X	X	(Klif, 2010a; Miljødirektoratet et al., 2013)
Etablering av blandingsskog - bjørk og gran							X	X	
Redusert avskoging							X	X	(Klif, 2010a)
Skogforvaltning:									
Oppfylling av foryngelsesplikten							(X)		
Økt plantetetthet på eksisterende skogarealer	-22	-45	-669	-352	lav	Middels krevende	(X)		(Klif, 2010a)
Skogplanteforedling (15 % foredlingsgrad)	-0,7	-1	-232	-1448	lav	Middels krevende			(Klif, 2010a)
Gjødsling av skog (50 000- 100 000 dekar per år)	-140 - -270	-140 - -270	-140 - -270	-140 - -270	lav	Forholdsvis enkelt	(X)		(Klif, 2010a; Miljødirektoratet et al., 2014b)
Gjødsling av torvmark med aske fra biobrenselanlegg							(X)		(Miljødirektoratet et al., 2014b)
Unngå hogst av ungskog							(X)	(X)	
Forlenget omløpstad							(X)	(X)	

Skogvern							X	X	
Tynning									
Redusere hogstavfall							X		
Jordforvaltning - markberedning							X		
Andre arealkategorier:									
Stans i nydyrking av myr	-154	-199							Se kapittel 4.9 om jordbrukssektoren
Mindre matsvinn	-9	-10							Se kapittel 4.9 om jordbrukssektoren
Rødt til hvitt kjøtt	-4	-6							Se kapittel 4.9 om jordbrukssektoren

- 1) Det er viktig å merke seg at effekten av tiltakene til syvende og sist vil avhenge av faktisk omfang. Dette viser tiltakets effekt på utslipp/ opptak av CO₂ i det aktuelle år. Beregningene er basert på eksisterende kunnskap. Det kan komme endringer i februar-leveransen. Substitusjonseffekter er ikke inkludert.
- 2) I dette prosjektet er det noe ulikt presisjonsnivå på kostnadsestimatene, og vi har derfor valgt å dele kostnadene inn i ulike kostnadsgrupper, herunder "høy", "middels" og "lav". I kostnadsgruppe "lav" ligger tiltak med tiltakskostnad < 500 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter. I kostnadsgruppe "middels" ligger tiltak med tiltakskostnader fra 500 - 1500 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter. I kostnadsgruppe "høy" ligger tiltak med tiltakskostnad > 1500 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter.
- 3) Tiltakenes gjennomførbarhet er vurdert på skalaen krevende, middels krevende eller forholdsvis enkelt. Vurderingen er basert på:
 - a. Tiltakets teknologimodenhet
 - b. Hvorvidt det finnes, eller kan iverksettes et egnet virkemiddel (virkemidler) for å få utløst tiltaket. Det virkemidlet som er best egnet vurderes etter:
 - i. Grad av styringseffektivitet - Hvor sikre er vi på at virkemiddelet vil utløse tiltak og utslippsreduksjoner som anslått?
 - ii. Fordelingsvirkninger - Er det slik at noen grupper rammes ekstra hardt, eller fordeles kostnadene på mange (f eks over statsbudsjettet)?
 - iii. Administrative kostnader ved virkemiddelet. - F. eks vil detaljerte enkeltreguleringer av mange små utslippskilder ha høye administrative kostnader (utover tiltakskostnadene)

Det kan også være andre grunner til at tiltak er vanskelige å gjennomføre. I Klimakur 2020 ble mange av tiltakene utredet med skille mellom samfunnsøkonomisk og bedrifts-/privatøkonomisk kostnad. Et slikt skille har vært utenfor rekkevidde innenfor tidsrammen på dette prosjektet. Andre mulige grunner til at tiltak er vanskelig gjennomførbare er målkonflikter med andre politiske mål eller at det er innebærer store, komplekse prosjekter, som for eksempel elektrifisering offshore. Kostnadsvurderingene som ligger til grunn for tiltakspakkene er i hovedsak samfunnsøkonomiske. Andre økonomiske aspekter er dekket opp av gjennomførbarhetsvurderingene. Spesielt for vurderinger av gjennomførbarhet for tiltakene i sektoren skog og andre landarealer er at teknologisk modenhet ikke er et moment av betydning. Derimot er målkonflikter med andre politiske mål svært relevant, i tillegg til at flere av tiltakene krever svært lang tid før en får full effekt.

4.10.5 Konsekvenser

Klimatiltak i skog og landarealer og konsekvenser for naturmangfold og andre miljøverdier

Flere av tiltakene som er skissert over forutsetter et mer intensivt drevet skogbruk og en næring som benytter nye arealer. Dette innebærer økt press på arealer og kan påvirke viktige miljøverdier knyttet til naturmangfold (arter, naturtyper og landskap), vannmiljø, kulturminner og -miljø, opplevelsesverdier, bruken av landskapet til friluftsliv og rekreasjon og landskapsøkologiske forhold. I hvilken grad miljøverdier blir påvirket avgjøres i første rekke av hvor og hvordan tiltaket implementeres, og i hvor stort omfang.

Både tiltak som innebærer mer intensiv forvaltning, og tiltak som innebærer planting på nye arealer og gjødsling med nitrogen, vil eksempelvis kunne føre til endring i livsbetingelsene for stedege arter og reduksjon eller tap av naturmangfold. Dersom enkelttiltak gjennomføres i stor skala vil en over tid også kunne se effekter på landskapsnivå. For å minimere denne målkonflikten vil det være viktig å avveie omfanget av hvert tiltak og av tiltakene samlet før implementering. En bør også vurdere mulige avbøtende tiltak. Bruk av nye arealer forutsetter også bedre kunnskap, kartlegging og registrering av miljøverdier for å kunne ivareta hensyn til truede arter og naturtyper og andre viktige miljøverdier.

I februar-leveransen vil vi utdype ytterligere hvilke målkonflikter som kan oppstå mellom nye klimatiltak og miljøverdier.

Energiforbruk

Det er ikke forventet at tiltakene vil gi store økninger i etterspørselen etter energi. Noen av tiltakene vil likevel kreve bruk av energi, som for eksempel drift av skogbruksmaskiner og produksjon og helikopterspredning av gjødsel. Tiltakene som bidrar til økt tilvekst vil gi økt tilgang til biomasse på slutten av omløpstiden. I tillegg vil tynning kunne bidra til å gi tilgang på virke tidligere i omløpstiden. Dette er biomasse som kan erstatte fossil energi direkte (bioenergi) eller indirekte (substitusjon av energiintensive produkter).

4.10.6 Mulige opptak- og utslippsnivåer

Tiltakene som er presentert i dette kapittelet skiller seg fra tiltak i andre sektorer. Teknologien er tilgjengelig. Faktorer som påvirker gjennomførbarheten er i større grad å finne den rette balansen mellom hensyn til klima, næring og miljø. Det vil kunne ta noe tid å implementere tiltakene i stor skala, blant annet fordi det i Norge er en stor andel småskala skogeiere som må informeres om hvilken tilpasning som er optimal dersom man tar hensyn til målkonflikter. For noen tiltak vil det også være behov for mer kartlegging for å målrette tiltakene mot arealer der det vil være akseptable effekter for naturmangfold og andre miljøverdier.

4.10.7 Oppsummering

Dette kapittelet har fokusert på økt opptak av CO₂, primært gjennom økt tilvekst av biomasse på skogarealene. Vi har ikke gjort noen nye beregninger av tiltakenes effekt og kostnad, men gjengitt resultatene fra Klimakur 2020. Disse og andre tiltak som kan føre til reduserte utslipp eller økt opptak både fra skog og andre landarealer vil bli vurdert nærmere til leveransen i februar 2015.

Kapittelet har vist at opptaket på skogarealene har vært sjeldent høyt i begynnelsen av dette århundret. Vi forventer et avtagende opptak fram mot århundreskiftet, selv om det fortsatt vil være et netto opptak på skogarealene og i sektoren for skog og andre landarealer totalt. Dersom man iverksetter tiltak kan man øke opptaket sammenlignet med referansebanen, men så langt viser våre beregninger at det likevel vil være et lavere opptak fremover enn det har vært de seneste årene. De tiltakene vi har kvantifisert i denne leveransen tilsier et økt opptak i skog på ca. 3 millioner tonn i 2050. I tillegg kommer effekter av tiltak i jordbrukssektoren, som har konsekvenser også for sektoren for skog og andre landarealer.

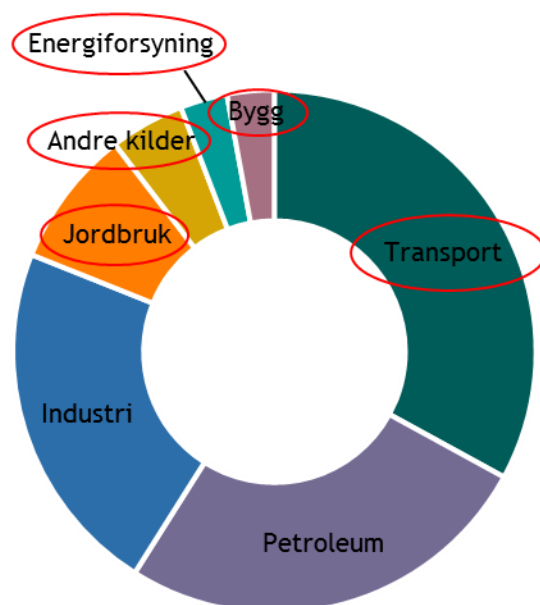
Det er rimelig å forvente at det vil bli et økende press på arealer framover. Arealer skal levere flere goder, som mat, naturmangfold, biomasse og rekreasjon. I et lavutslippssamfunn vil det være viktig at man er bevisst på hvilke goder man ønsker at arealene skal gi. Gitt at det kan ta tid å endre driverne for arealbruk og endringer i arealbruken, bør man allerede nå gjøre vurderinger om hvordan arealene i Norge skal disponeres utover i århundret.

4.11 Kommunenes rolle

På veien mot lavutslipp kreves det omstilling og bidrag fra mange aktører, og blant disse står norske kommuner i en særstilling. I kraft av å være planmyndighet, eier av infrastruktur og bygninger, innkjøper av varer og tjenester, tjenesteleverandør og lokal koordinator har kommunene en nøkkelrolle i arbeidet med å redusere utslipp av klimagasser på en rekke områder.

Kommunene har virkemidler som kan påvirke flere av utslippskildene i Norge. Den viktigste er utslipp fra veitrafikk, men også utslipp fra bygninger, fjernvarme, jordbruk, skogbruk og avfallssektoren, se Figur 4-65.

Utslipp av klimagasser i 2012 i Norge, fordelt på kilde. Totalt 52,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter



Figur 4-65 Utslipp av klimagasser i Norge fordelt på kilde. Markeringene viser sektorer som kommunene kan påvirke.

Det er spesielt rollen som planmyndighet som gir kommunen mulighet til å påvirke samfunnsutviklingen på sentrale områder. Plasseringen av servicetilbud, boliger, arbeidsplasser og infrastruktur i forhold til hverandre legger også sterke føringer for hvordan transportbehovet kan dekkes, og dermed for det lokale utslippsnivået. I et langsiktig tidsperspektiv blir betydningen av dette enda viktigere: Det vi bygger i dag vil stå i mange tiår. Hvordan vi disponerer arealene og utformer byer og tettsteder vil derfor kunne ha betydning for klimagassutslippene i lang tid fremover. Spesielt i byområdene der det ventes en kraftig befolkningsvekst er det viktig å legge opp til en kompakt utvikling, samlokalisering av funksjoner (boliger, arbeidsplasser, servicetilbud og grøntområder), og prioritering av kollektivtransport og myke trafikanter. Dette er nødvendig for å unngå "lock-in" - for å unngå at utbyggingsmønsteret låser oss til bruk av løsninger som ikke er bærekraftige. Bærekraftige løsninger vil også kunne ha økonomiske fordeler på mellomlang til lang sikt (The Global Commission on the Economy and Climate, 2014). Gjennom samordnet areal- og transportplanlegging kan transportbehovet reduseres og bilavhengigheten gå ned. Sammen med økonomiske virkemidler for å begrense biltrafikken i byområder, bedre tilrettelegging for miljøvennlige transportformer, og en restriktiv parkeringspolitikk kan kommunene bidra til å redusere utslippene fra veitrafikken betraktelig.

Kommunene rår også over viktige virkemidler på andre sektorer enn transportsektoren. Plan- og bygningsloven gir kommunene mulighet til å stille viktige krav innen energiforsyning, som for eksempel at et område ikke kan bygges ut før energiforsyningen er løst, og at nye utbyggingsområder skal tilrettelegges for vannbåren varme. Når konsesjon til fjernvarme foreligger etter energiloven kan kommunen fastsette tilknytningsplikt. Kommunene er også selv eier av og drifter betydelige bygningsmasser og kjøretøyparker, og noen også energiverk. Her kan kommunene fase ut fossile brenslers og sørge for energieffektivisering. Også når det gjelder avfallsbehandling har kommuner virkemidler som påvirker utslipp av klimagasser. Kretsløpsbaserte avfallssystemer med kildesortering og gjenvinning kan innføres, eventuelt med produksjon av biogass.

Videre har kommunen muligheter til å påvirke jordbrukssektoren. Kommunene forvalter tilskuddsordningene til jordbruket og har mulighet til å påvirke jordbrukssektoren gjennom god oppfølging og koordinering av gjennomføring av tiltak. Det er i utgangspunktet få virkemidler i jordbrukssektoren som er direkte rettet mot klimagassutslipp, men støtte til innføring av tiltak som for eksempel skal hindre avrenning fra dyrket mark vil også kunne redusere utslipp av klimagasser. Kommunen har også ansvar for godkjenning av tillatelser for dyrking av ny mark gjennom jordloven og kan for eksempel la være å gi tillatelse for nydyrking av myr. De bidrar også med informasjons- og holdningsskapende arbeid som kan øke kunnskapen om bedre agronomisk praksis hos bonden.

Kommunene er store innkjøpere. De kan gjennom anbudsregelverket sørge for at miljøvennlige varer og tjenester etterspørres. Dette kan gi sterke markedsincentiver for økt innovasjon i miljøvennlig retning, og også bygge opp de nødvendige næringskjedene lokalt. Dette kan igjen få store ringvirkninger ved å gjøre miljøvennlige varer og tjenester tilgjengelig for hele samfunnet.

Mulige utslippsreduksjoner i de nevnte sektorene er kvantifisert i kapittel 4. I tiltaksbeskrivelsene i kapittel 4 fremgår det også hvilke tiltak og virkemidler som kan føre til raske utslippskutt, og hvilke som først vil gi uttelling på sikt. Energieffektiviseringstiltak i egne bygg og kjøretøyparker, samt miljøkrav til varer og tjenester gjennom anbudsregelverket er eksempler på tiltak som kommunene kan iverksette umiddelbart og som kan gi utslippsreduksjoner på kort sikt. Klimahensyn i arealplanlegging og energiforsyning er tiltak som først vil ha en effekt på lengre sikt.

Det er i klima- og energiplanene (jf. statlig planretningslinje om klima- og energiplanlegging, 2009) at kommunene kan synliggjøre helheten i virkemiddelbruken og effektene det gir. I 2014 har Miljødirektoratet gjennomført en kartlegging av hvordan statlig planretningslinje om klima- og energiplanlegging følges opp. Nær alle kommuner og fylkeskommuner har utarbeidet slike planer, men det er rom for forbedringer i selve planleggingsarbeidet og hvordan komme fra plan til handling. Hovedkonklusjonene er at kommunene har behov for bedre veiledning knyttet til de tekniske delene av planleggingen, at det kan være gevinster å hente i bedre nettverk, og at mange små kommuner har spesielle utfordringer.

Det er viktig å se kommunens virkemidler og statlig politikk på de respektive områdene i sammenheng. For eksempel er investeringsbehovet i infrastruktur og behovet for driftsmidler for kollektivtransporten større enn det kommunene kan bære selv. Fylkeskommunens ansvar for kollektivtransport bør ses i sammenheng med dette. Videre er forpliktende samarbeidsavtaler slik som helhetlige bymiljøavtaler (jf. Stortingsmeldingen om Nasjonal transportplan (NTP) 2014-2023) viktige virkemidler. En utvidelse av avtaler og kunnskapsnettverk som Framtidens byer til også å omfatte mindre byer kan bli viktig for å utløse hele potensialet som finnes i kommunesektoren for å redusere utslippene.

5. Mulige utslippsnivå mot 2050

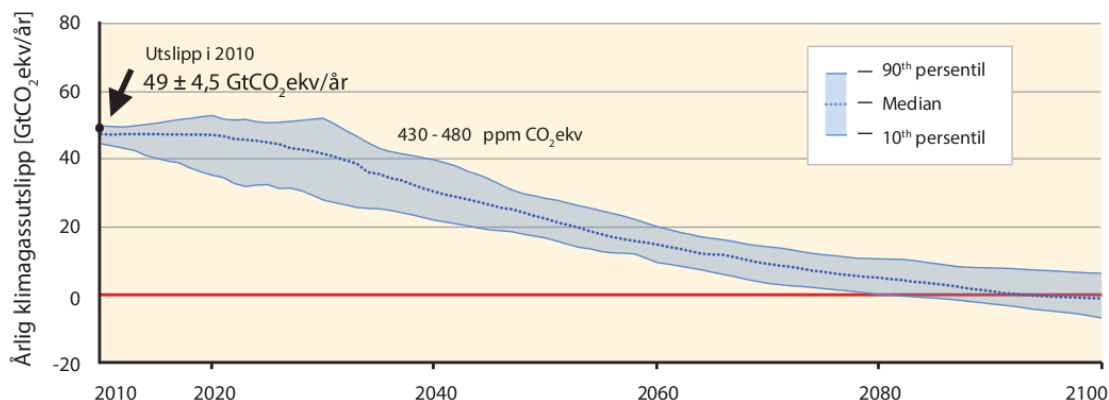
5.1 Innledning

Dette kapittelet tar for seg mulige utslippsnivåer for Norge i 2030 og 2050 sett i lys av togradersmålet. I kapittel 5.2 nærmer vi oss dette spørsmålet fra et overordnet perspektiv der vi tar utgangspunkt i hva FNs klimapanel sier er nødvendige utslippskutt for å unngå de mest alvorlige menneskeskapte klimaendringene fram mot år 2100. Vi har også sett på klimamålene til land det er naturlig å sammenlikne oss med. Deretter trekker vi frem noen særtrekk ved Norge og drøfter hva de har å si for Norge som lavutslippssamfunn. I kapittel 5.3 og 5.4. presenteres mulige norske utslippsnivåer i henholdsvis 2050 og 2030 i lys av de foregående kapitlene.

5.2 Hvor store utslippskutt er nødvendig?

5.2.1 Hva skal til for å nå togradersmålet globalt?

Ifølge FNs klimapanel sine siste rapport innebærer en utvikling i tråd med togradersmålet at de globale utslippene av klimagasser reduseres med 40-70 % fra 2010 til 2050, inklusiv netto opptak av karbon (IPCC, 2014). Til forskjell fra den fjerde hovedrapporten (IPCC, 2007), sier nå IPCC mer om utslippsreduksjoner etter 2050 og at utslippene må reduseres ytterligere i andre halvdel av dette århundret. Utslippsmodellene som tillater en kombinasjon av "overshoot" (at konsentrasjonen av klimagasser blir høyere enn 450 ppm) og karbonnegative løsninger kommer ut med de laveste kostnadene. De fleste utslippsbanene som reduserer utslippene med mellom 40-70 % i 2050 krever netto negative globale utslipp i perioden 2081-2100. Det vil si at utslippene i denne perioden motsvares av et større opptak og lagring av CO₂. Dette kan for eksempel skje gjennom omfattende kraftproduksjon basert på bioenergi, der CO₂ fra forbrenningen fanges og lagres, og/eller gjennom omfattende skogplanting.



Figur 5-1 IPCCs togradersscenario. Kilde: (IPCC, 2014)⁴⁰

⁴⁰ IPCCs togradersscenario er basert på en sammenstilling av en rekke utslippsreduksjonsscenarioer fra publiserte stor-skala integrerte modeller som vanligvis er designet for å kostnadsminimere utslippsreduksjoner.

Det er stor usikkerhet rundt konsekvensene av å tillate at konsentrasjonen av klimagasser blir høyere enn 450 ppm. Det er også stor usikkerhet knyttet til om verden lykkes i å fjerne karbon fra atmosfæren i et omfang som må til for at verden skal være karbonnegativ mot slutten av århundret. Arealknapphet ved utstrakt bruk av bioenergi er en av de store utfordringene ved utstrakt bruk av bioenergi med CO₂-fangst og lagring. Sannsynligheten for at vi lykkes i å begrense den menneskeskapte oppvarmingen til 2 grader er derfor større dersom en større del av de nødvendige utslippskuttene gjennomføres før 2050.

Hva sier femte hovedrapport om behovet for globale utslippsreduksjoner sammenliknet med tidligere?

I FNs klimapanel forrige hovedrapport fremkom det at verdens utslipp av CO₂ må reduseres med 50-85 prosent fra mot 2050 sammenliknet med nivået i 2000. I Klimapanelets femte hovedrapport fremkommer det at klimagassutslippene må reduseres med 40–70 prosent mot 2050 sammenliknet med 2010-nivå. Prosenttallene er ikke sammenliknbare. Mens man tidligere regnet utslipp i forhold til 2000, regner man nå i forhold til 2010-nivå. Videre regnet man tidligere kun på reduksjon i CO₂, mens alle klimagassene som inngår i Kyoto-avtalen nå er inkludert. En annen viktig forskjell er at scenarioene i den femte hovedrapporten krever at utslippene må ytterligere ned mot 2100 og at man mot slutten av perioden trolig må ha netto negative utslipp.

Dersom de globale klimagassutslippene skal reduseres med 40-70 % i forhold til 2010-nivå i 2050, så vil det innebære at årlige globale utslipp må reduseres fra 49 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter i 2010 til 14,7-29,4 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter i 2050. Gitt en befolkning på omtrent 9,5 milliarder mennesker i 2050 (UN, 2013), gir det et utslipp på om lag 1,5-3,1 tonn CO₂-ekvivalenter per innbygger. Med andre ord, et scenario med globale kutt på 70 % betyr at vi kan slippe ut i gjennomsnitt 1,5 tonn per person og et scenario med 40 % i globale kutt betyr et gjennomsnittlig utslipp på 3,1 tonn per person. Videre må globale utslipp ned til mellom +10 milliarder tonn til minus 10 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter i 2100 (IPCC, 2014). Gitt en befolkning på 10,9 milliarder mennesker i 2100, gir det et utslipp per innbygger på 0,9 til minus 0,9 tonn per innbygger som verdensgjennomsnitt.

Dersom Norge skal kutte utslippene i tråd med verdensgjennomsnittet innenfor togradersmålet på 1,5 til 3,1 tonn per innbygger, må utslippene ned fra dagens nivå på om lag 52,7 millioner tonn til mellom 10,2 - 20,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2050, gitt en befolkning på 6,6 millioner (SSBs middelalternativ). Dette tilsvarer 60-80 % kutt i forhold til 1990-nivå for Norge. Videre må utslippene ned til 6,9 til minus 6,9 millioner tonn mot år 2100, gitt en befolkning på 7,7 millioner i 2100 (SSBs middelalternativ).

Til sammenlikning er utslipp per innbygger i Norge i dag på litt over 10 tonn CO₂-ekvivalenter, mens verdensgjennomsnittet er på om lag 7 tonn per innbygger. Tysklands mål om å kutte klimagassutslippene med 80 til 95 % sammenliknet med 1990 (se omtale kapittel 2), tilsvarer et mål om at utslippene skal ned mot 1 tonn per innbygger i 2050. Storbritannias mål om å redusere sine klimagassutslipp med 80 % sammenliknet med 1990-nivå innen 2050, gir et utslipp på 1,5 tonn per innbygger, dersom man legger Eurostats befolkningsframskriving for Storbritannia for 2050 til grunn.

Utslipp per innbygger varierer sterkt mellom land og regioner i dag. Dersom verden skal lykkes med å begrense den globale oppvarmingen i tråd med togradersmålet, må ambisjonsnivået i klimapolitikken i alle land og regioner heves. På sikt vil derfor avkarbonisering av de ulike utslippssektorene verden over bidra til at dagens forskjeller i tiltakskostnader mellom sektorer, land

og regioner jamnes ut, men det vil fortsatt kunne være forskjeller i utslipp per innbygger mellom land. Typisk vil land som leverer utslippsintensive varer og råstoffer til verdensmarkedene kunne ha høyere utslipp per innbygger enn land som i stor grad importerer slike varer og råstoffer. Samtidig er det flere forhold som trekker i retning av at utslippsnivåene per innbygger må jamnes ut mot slutten av dette århundret. Det er utviklingsland som har lavest utslipp per innbygger i dag. For å bekjempe fattigdom må disse landene gjennom en økonomisk utvikling som vil bidra til at utslipp per innbygger vil måtte bli mer lik industrilanden i et framtidig lavutslippssamfunn.

Et annet forhold som trekker i retning av at utslippsnivåene per innbygger vil jamnes ut er at kraftproduksjon basert på fossile energikilder må erstattes av utslippsfri kraftproduksjon. Blant annet krever de fleste togradersscenarioene i IPCCs femte hovedrapport at andelen global kraftproduksjon basert på lavutslippsteknologi må være mer enn 80 % innen 2050. I EUs 2050 roadmap legges det opp til at kraftsektoren i EU må være tilnærmet utslippsfri innen 2050 (European Commission, 2011). Mange av særtrekkene ved Norge beskrevet under blir derfor mindre relevante over tid og spesielt frem mot 2050.

5.2.2 Momenter som kan påvirke utslippsutviklingen i Norge

Noen norske særtrekk som forklarer den historiske utslippssammensetningen ble diskutert innledningsvis i kapittel 3. I dette kapittelet ser vi på noen momenter som kan påvirke utslippsutviklingen i Norge mot et lavutslippssamfunn. Noen momenter trekker i retning av det vil være mer utfordrende å redusere utslippene i Norge, mens andre tilsier at det vil være enklere i Norge enn i andre land. Vår oppgave i denne rapporten har ikke vært å anbefale noe konkret utslippsnivå, men å synliggjøre disse momentene. Videre har vi ikke sett på rene etiske og moralske argumenter, men viser til klimakonvensjonens artikkel 2 som sier at "Accordingly, the developed country Parties should take the lead in combating climate change and the adverse effects thereof." Mange vil blant annet hevde at Norge har et særskilt ansvar som et rikt, oljeproduserende land.

Norge har hatt utslippsøkning siden 1990 til tross for aktiv nasjonal klimapolitikk

Norske klimagassutslipp har økt med i underkant av 5 % fra 1990-2012. I samme periode gikk utslippene i EU som helhet ned med over 18 %, selv om det er variasjoner innad i EU. Dette er av direkte betydning når man beregner de nødvendige utslippsreduksjonene som prosentvise reduksjoner i forhold til 1990-nivå. Utslippsøkningen i Norge har skjedd til tross for aktiv klimapolitikk og skyldes til dels høy økonomisk vekst, inkludert økt aktivitet offshore. Blant annet ble CO₂-avgiften innført allerede i 1991. Beregninger utført for Norges sjette nasjonale kommunikasjon (NATCOM6) viser at de norske utslippene i 2010 er 12,6-15,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter lavere enn de ville ha vært uten klimatiltak og virkemidler.

Karbonintensiteten i norsk økonomi, altså CO₂-innholdet i hver enhet brutto nasjonalbudsjett, har falt med 40 % siden 1990. Den aktive klimapolitikken, sammen med andre særtrekk som en tilnærmet utslippsfri kraftproduksjon (se eget punkt under), har bidratt til at Norge har færre billige klimatiltak enn mange andre land. Som et resultat er tiltakskostnadene ved å redusere utslipp i Norge gjerne høyere enn i mange andre land.

Norge er i en økonomisk særstilling

Norge har et høyere inntektsnivå enn de aller fleste land. Norge har stått seg bedre gjennom finanskrisen enn andre land i Europa. Den høye lønnsomheten i petroleumsvirksomheten gir betydelig etterspørsel etter varer og tjenester fra fastlandsøkonomien og store inntekter til staten. På den ene siden gir dette oss økonomisk handlefrihet til å møte overgangen til et lavutslippssamfunn. På den andre siden skaper det høye aktivitetsnivået i økonomien press på priser og lønninger.

Norge har allerede en velutviklet infrastruktur

Norge har, i likhet med andre industriland, allerede en velutviklet infrastruktur. Utviklingsland, og dels også de framvoksende økonomiene, vil ha behov for å løfte store deler av befolkningen ut av fattigdom. Dette nødvendiggjør stortilt utbygging av infrastruktur for å sikre energitilgang, effektiv kommunikasjon, gode boforhold, skoler og helsevesen. Slik utbygging vil forårsake utslipp av klimagasser inntil man finner nullutslippsløsninger for produksjon av byggematerialer som stål og sement, i transportsektoren og for energiproduksjon.

Norge har en tilnærmet utslippsfri kraftproduksjon

Våre store vannkraftressurser bidrar til at Norge har en nærmest utslippsfri landbasert kraftproduksjon. For mange land vil de billigste tiltakene være energieffektiviseringstiltak som reduserer etterspørselen etter fossil kraftproduksjon samt å fase ut kullkraft og erstatte dette med fornybar energiproduksjon og eventuelt gasskraft i en overgangsfase. Norge har et bedre utgangspunkt enn mange andre land, ettersom kraftproduksjonen allerede er tilnærmet utslippsfri. Samtidig har vi heller ikke de samme mulighetene til å oppnå utslippskutt gjennom å fase ut kull.

Forventning om relativt høy befolkningsvekst framover i Norge

I følge middelalternativet fra Statistisk Sentralbyrå, forventes Norges befolkning å øke fra 5,1 millioner i 2014 til 6,6 millioner i 2050. Befolkningsutvikling er en av hoveddriverne bak utslippsutviklingen innenfor flere sektorer, herunder transportsektoren. I europeisk sammenheng er dette en sterk vekst, mens den er lav sammenliknet med verdensgjennomsnittet.

Særtrekk i de tre største utslippssektorene i Norge - transport, industri og petroleum

De tre største utslippssektorene i Norge er transport-, industri- og petroleumssektoren. Som påpekt ovenfor, utgjør utslippene fra kraftproduksjon og bygg en forholdsvis mindre andel av de totale utslippene enn i mange andre land, som følge av vannkraften.

Utslippene fra transportsektoren henger nært sammen med befolkningsvekst og aktivitetsnivået i økonomien og står i dag for om lag en tredjedel av de samlede utslippene. Teknologiutviklingen skjer i stor grad utenfor landets grenser, mens transportbehovet i større grad påvirkes nasjonalt gjennom areal- og transportplanlegging. Norges transportsektor er tilpasset spredt bosetning, kalde vintre og relativt små byer. Ut over dette vil utfordringene med å kutte klimagassutslippene fra transportsektoren være nokså like over landegrensene.

Petroleumssektoren står i dag for om lag en fjerdedel av de samlede norske klimagassutslippene. At en bransje står for en så stor andel av utslippene skiller Norge fra de fleste andre land.

Utsliffsframskrivingene tilsier at de samlede klimagassutslippene fra petroleumssektoren vil være om lag halvert innen midten av dette århundret. Markedsmessige forhold, herunder framtidig klimapolitikk, kan ha betydning for framtidig produksjon og utslipp.

Utslippene fra industrisektoren står i dag for omlag 22 % av de samlede utslippene og har blitt redusert vesentlig fra 1990 (fra 19,1 til 11,7 millioner tonn). Det har blitt gjennomført en rekke tiltak som har redusert utslipp av andre klimagasser enn CO₂, slik som perfluorgasser fra aluminiumsindustrien og lystgass fra mineralgjødselindustrien. De gjenstående utslippene består derfor hovedsakelig av CO₂. Norsk industrisektor kjennetegnes ved stor andel prosessutslipp som blant annet skyldes at i de to største bransjene, aluminium og ferrolegeringer, er over 80 % av utslippene prosessutslipp. Av det totale utslippet fra industrien i 2012 utgjorde omtrent to tredjedeler prosessutslipp, mens rundt ¼ stammet fra forbrenning av fossile energivarer. Av forbrenningsutslippene er det bare rundt en ¼ som kan fjernes ved overgang til fornybare

energibærere. De andre forbrenningsutslippene samt prosessutslippene må fjernes gjennom prosessomlegging eller CCS, med andre ord relativt dyre tiltak.

Norge vil ha et betydelig opptak av karbon i dette århundret

Som et resultat av aktiv skogplanting i tiårene etter krigen vil Norge ha et betydelig opptak av karbon i dette århundret. Netto binding av karbon i skog og andre landarealer (LULUCF) har økt fra 10 millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år i 1990 til 27 millioner i 2012. Volumet i skogen vil fortsatt øke utover dette århundret, men de nyeste framskrivingene fra Norsk institutt for skog og landskap tilsier at den årlige netto bindingen vil avta fra dagens nivå til 16 millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år i 2050, uten nye tiltak og virkemidler. Forventet årlig netto opptak i 2050 tilsvarer dermed en økning på om lag 6 millioner tonn fra 1990, som tilsvarer en 60 prosent økning. Ut over dette kan nye tiltak og virkemidler bidra til ytterligere nettoopptak, men effekten av disse vil være størst på lengre sikt etter 2030 og til dels etter 2050. Norge skiller seg fra mange land med stort netto opptak av CO₂ fra skog og andre landarealer i forhold til utslipp fra andre sektorer.

5.3 Mulige utslippsnivåer i 2050

5.3.1 Aggregering fra sektoranalysene

Industri

Dersom man forutsetter høy grad av teknologiutvikling og utstrakt bruk av CCS, er det i industridelkapittelet sannsynliggjort at utslippene fra industrien vil kunne reduseres vesentlig mot 2050. Hvis teknologiutviklingen derimot er lav og CCS ikke tas i bruk, vil utslippene være i samme størrelsesorden som i dag også i et 2050-lavutslippsscenario, forutsatt uendret næringsstruktur. På kort sikt er det fortsatt et reduksjonspotensial å hente ut ved å fortsette arbeidet med energieffektivisering og utfasing av fossile brensler og videre prosessoptimalisering. Dette potensialet er imidlertid noe begrenset siden store deler av utslippene stammer fra prosessene industrien bruker, enten som direkte prosessutslipp eller ved forbrenning av gasser som oppstår i prosessene.

Usikkerhetene relatert til teknologiutvikling gir derfor et relativt stort intervall for mulige utslippsreduksjoner i 2050. For noen industribransjer, som petrokjemisk industri, raffinerer, enkelte typer metallproduksjon og produksjon av sement og kalk, fremstår CCS som den eneste aktuelle måten å redusere utslippene mot null. For andre bransjer kan det vise seg at ny prosess teknologi gjør CCS unødvendig. Mange av de mulige løsningene som er beskrevet for industrien er imidlertid på et lavt modningsnivå, og man kan ikke vite når eller om disse løsningene vil la seg gjennomføre på industriell skala. Utbredt bruk av CCS, eller en kombinasjon av CCS og alternative prosesser, vil kunne redusere utslippene ned mot 2-3 millioner tonn i 2050 med de forutsetningene vi har lagt til grunn i våre scenarioer.

Utvidelse og nyetablering av industri i Norge med konvensjonell teknologi kan gi økte utslipp fra industrien i Norge utover de scenarioene vi har presentert. Å utvide eller etablere ny industri i Norge basert på fornybar kraft i kombinasjon med lavutslippsteknologier kan være klimamessig gunstig i en global kontekst.

Det er ikke bare teknologiutvikling som vil kunne gi utslippsreduksjoner i industrien, men også strukturelle endringer knyttet til lokalisering av industri og bedre integrering av prosesser. Overgang til fornybar energi og fornybare råstoffer vil redusere etterspørselen etter fossile produkter. Det

kan for eksempel medføre at behovet for råoljeraffinerier blir mindre, og at deler av den petrokjemiske industrien kan erstattes med kjemisk industri basert på fornybare råvarer.

Transport

I transportsektoren er det mulig å oppnå veldig lave klimagassutslipp i 2050, og selv tilnærmet nullutslipp anses som en mulighet. Et viktig premiss er at det må skje teknologisk utvikling på en eller flere av de mest sentrale nullutslippsteknologiene; batterielektrisk, hydrogen og avansert biodrivstoff. Uten denne teknologiutviklingen vil transportsektoren kunne ha betydelige utslipp også i 2050. Denne utviklingen er i stor grad styrt av forhold utenfor Norge.

Transportvolumet, derimot, kan vi i sterkere grad styre selv. God transport- og arealplanlegging kan redusere transportbehovet, blant annet ved å begrense byggingen av nye boliger, arbeidsplasser og servicetilbud til steder med godt kollektivtilbud. Transport- og arealplanleggingen legger grunnlaget for utviklingen i framtidig transportvolum, men er også kritisk for utbygging av infrastrukturen som behøves for å ta i bruk nullutslippsteknologier. Sterkere befolkningsvekst enn antatt vil gjøre nullutslipp fra transportsektoren mer krevende. Fortsatt økonomisk vekst kan føre til økt transportvolum. På den annen side kan økonomisk vekst øke evnen til å finansiere teknologiutvikling og infrastruktur. Eventuelle begrensninger på ressurstilgang, i form av elektrisitet eller biomasse, kan bli avgjørende for å nå veldig lave utslipp. Sannsynligheten for at det er mulig å komme ned mot tilnærmet null-utslipp i transportsektoren vil være høyere jo tidligere man starter en omlegging til nullutslippskjøretøy, fordi sektoren kjennetegnes ved mange beslutningstakere og mange små utslippskilder, og fordi utviklingen må gå i takt med utbyggingen av infrastruktur.

Investeringsbeslutninger som tas i dag blir til fysiske rammebetingelser for utslippene som i stor grad fortsatt vil stå der i 2050. Den fysiske levetiden til personbiler i Norge i dag er om lag 18 år, det vil si at de siste bensin- eller dieselbilene må selges i 2030 for å få en utslippsfri personbilpark i 2050. Skip som bygges i dag vil fortsatt være i drift i 2050.

Petroleum

Delkapittelet om petroleum illustrerer at det i utgangspunktet er teknisk mulig å oppnå en nærmest utslippsfri olje- og gassproduksjon innen 2050. Dette forutsetter elektrifisering av både nye og eksisterende innretninger som opererer i 2050. Det vil nok fremdeles være noe utslipp fra sikkerhetsfakling og mindre utslipp fra forbrenning av diesel.

Det er teknisk mulig å elektrifisere de fleste innretningene, men dette kan innebære store ombygginger og meget høye kostnader. Det er derfor viktig å utnytte muligheten som oppstår når det allikevel skal gjøres større endringer, enten dette skyldes aldrende innretning eller andre behov. I et så langt tidsperspektiv vil antakelig en del av disse innretningene likevel måtte gjennomføre store oppgraderinger.

Ved å elektrifisere nye innretninger fra oppstart av unngår man nye store punktutslipp med lang levetid som vil bli dyre å elektrifisere senere. Omtrent 80 % av utslipp fra nye innretninger kan unngås dersom disse hel-elektrifiseres fra dag en. Dersom feltene ligger veldig langt fra land, slik som i Barentshavet, kan elektrifisering være teknisk vanskelig eller umulig.

En global omlegging i tråd med togradersmålet vil påvirke fremtidig etterspørsel etter kull, olje og gass. Lavere etterspørsel betyr lavere priser enn det som forventes i et såkalt "business-as-usual"-scenario.

Jordbruk

Utfordringen i jordbrukssektoren er at man må ta hensyn til både klima og behovet for matproduksjon. Jordbrukssektoren i Norge vil ikke kunne komme ned mot null klimagassutslipp så lenge vi har matproduksjon. Dersom man legger til grunn at selvforsyningsgraden skal opprettholdes og en økende befolkning, vil utslippene fra jordbruket øke dersom man ikke gjennomfører nye tiltak. Tiltakene og virkemidlene som er skissert i jordbrukskapittelet tilsier at utslippene fra metan og lystgass i jordbruket i 2050 kan reduseres til 3-4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Matproduksjonen må i så fall ha blitt mer klimavennlig som følge av utslippsreducerende tiltak, men også på grunn av at befolkningen har fått et mer bevisst forhold til matforbruk. Tiltakene som har størst effekt i jordbruket i 2030 er produksjon av biogass fra husdyrgjødsel og restavlinger og en omlegging i produksjonen fra rødt til hvitt kjøtt. Mindre matsvinn i hele næringskjeden vil også bidra til mindre behov for kjøttproduksjon. De fleste tiltakene kan innføres på kort sikt og oppgraderes gradvis slik at full effekt nås i et lavutslippssamfunn. I 2050 har vi i tillegg lagt til grunn at utslippene fra husdyrdrift er redusert på grunn av lavere kjøttforbruk i befolkningen. Den største utfordringen for jordbruket og matproduksjonen i Norge vil være at befolkningen må endre kostholdet sitt slik at utslippene fra produksjonen av kjøtt blir redusert.

Energiforsyning

Vi legger til grunn at dersom det drives gasskraftproduksjon i Norge i 2050, så vil dette måtte skje med CCS, slik at utslippene vil være svært begrenset.

Fjernvarme leverer varme til bygg og produksjonslokaler basert på forbrenning av avfall, men også av andre energibærere. Ved en høyere utsortering av fossile deler av avfallet, vil klimagassutslippene fra avfallsforbrenning reduseres vesentlig. Men det forventes at det fortsatt vil være avfallsfraksjoner basert på fossile materialer, som bidrar til at sektoren antagelig vil ha et lite utslipp i 2050. Mot 2050 forutsettes det imidlertid at bruk av andre fossile energivarer i fjernvarmeanleggene er erstattet med fornybare energivarer.

Avfall

I et lavutslippsperspektiv forventer vi høyere grad av ressursutnyttelse av avfall enn i dag. I lavutslippssamfunnet vil materialgjenvinningen og biologisk behandling være på et høyt nivå for avfallstyper der dette gir positive miljøeffekter over livsløpet. Dette gjelder blant annet for plastavfall, edelmetaller, jordartmetaller og andre metaller, tekstiler og våtorganisk avfall.

Vi antar at det meste av potensialet for utslippsreduksjoner fra avfallsdeponier som ble identifisert i Klimakur er utløst, og det derfor først og fremst er ved tiltak rettet mot materialgjenvinning og biologisk behandling at avfallssektoren kan bidra med utslippsreduksjoner. Tiltak som bidrar til avfallsforebygging kan gi reduserte utslipp gjennom livsløpet fra framstilling av råvare og produkt til behandling av avfallet.

Bygg

Utslipp fra oppvarming i bygg kan i hovedsak fjernes fram mot 2050. Utskifting av bygningsmassen og oppgradering av eksisterende bygningsmasse mot 2050 vil medføre et redusert energibehov. Passivhus (bygg med svært lavt oppvarmingsbehov) og pluss-hus (som produserer mer energi enn det forbruker gjennom solceller, solfangere, varmepumper eller vindmøller) vil bidra til dette. I eksisterende bygningsmasse vil utfasing av oljefyr med elektrisitet, fjernvarme og fornybare energibærere (pellets, biogass, ved) kunne fjerne de gjenværende utslippene fra fossile energibærere. I de tilfellene hvor de fossile energivarer byttes ut med bioenergi kan vi få et lite restutslipp av metan og lystgass, men dette kan minimeres ved effektive rentbrennende ovner.

Fluorerte gasser i produkter

HFKer, PFKer og SF₆ brukt i produkter er sterke syntetiske klimagasser som anvendes som blant annet erstatningsstoffer for forbudte ozonreducerende stoffer. Med de strenge kravene som følger av implementering av nytt EU-regelverk, og med god oppfølging av disse kravene, forventes det at utslippene av fluorerte gasser vil være tilnærmet lik null i 2050.

Skog og andre landarealer - opptak av karbon

Uten nye tiltak og virkemidler vil årlig netto opptak i skog og andre landarealer øke fra 10 millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år i 1990 til 16 millioner tonn i 2050. Dette er likevel en betydelig nedgang fra dagens nivå på nesten 27 millioner tonn. Skog i boreale områder vokser sakte. Dersom man ønsker å sikre et høyere opptak i framtiden, må man derfor gjennomføre tiltak i dag. Delkapittelet om skog og andre landarealer viser at det vil være mulig å øke nettoopptaket av karbon i skog med over 3 millioner tonn CO₂ årlig mot 2050 ved å sette i verk nye tiltak og virkemidler relativt raskt. Tiltakene som er kvantifisert er planting av skog på nye arealer, økt plantetetthet på eksisterende skogarealer, skogplanteforedling, og gjødsling av skog. Det er også flere andre tiltak i sektoren som kan bidra til økt opptak og redusert utslipp, men som ikke er kvantifisert i denne rapporten. I tillegg vil flere tiltak som implementeres i jordbrukssektoren, slik som stans i nydyrking av myr, gi redusert utslipp på rundt 215 000 tonn CO₂ i denne sektoren i 2030.

Tiltakenes effekt vil til syvende og sist avhenge av faktisk omfang. Som for øvrige sektorer vil det være nødvendig å gjøre avveininger mellom klimapolitiske mål og andre politiske mål. For denne sektoren er det kanskje spesielt andre miljømål, som hensyn til naturmangfold, som vil være viktige å vurdere.

Spesielt for denne sektoren er at også effekten av biofysiske faktorer (som albedo) må inngå når man vurderer klimaeffekten av tiltak. Disse er ikke kvantifisert her.

5.3.2 Sammenstilling av mulige utslippsnivåer i 2050

Vår hovedtilnærming har vært å beskrive Norge som et lavutslippssamfunn der vi legger til grunn at resten av verden også reduserer sine utslipp i tråd med togradersmålet. Dersom man legger til grunn FNs klimapanelers utslippsbaner krever dette at utslipp per innbygger reduseres til mellom 1,5 til 3,1 tonn CO₂-ekvivalenter per innbygger som et verdensgjennomsnitt (gitt en befolkning på 9,5 milliarder i 2050).

I sum tilsier gjennomgangen i forrige kapittel at det vil være mulig å redusere Norges utslippsnivå i 2050 ned til i størrelsesorden 7-12 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2050. Gitt en befolkningsframskriving til 2050 på 6,6 millioner mennesker, tilsvarer dette et utslippsnivå per innbygger i Norge i 2050 på om lag 1 til 2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Dette forutsetter teknologiutvikling som bestemmes utenfor Norges grenser, spesielt i transportsektoren. Hvis ambisjonsnivået i andre land er tilsvarende, slik det er forutsatt i denne analysen, er det mer sannsynlig at mye av den nødvendige teknologiutviklingen vil finne sted mot 2050.

Dersom man i tillegg gjennomfører tiltak i sektoren skog og andre landarealer, vil man kunne få et høyere netto opptak av klimagasser på ca. 3 millioner tonn per år i 2050 fra denne sektoren.

Det vil være svært krevende for Norge å komme ned til slike utslippsnivåer uten at land rundt oss også fører en ambisiøs klimapolitikk. På samme måte kan andre land også dra fordel av vår globale innsats. Vi er avhengig av blant annet ny kjøretøyteknologi og utvikling av teknologier for karbonfangst og -lagring. Norge kan påvirke denne utviklingen, men ikke drive den alene.

Vi kan velge å elektrifisere petroleumsvirksomheten for å få ned egne utslipp, men dette må sees i sammenheng med at kraftforsyningen i Europa blir fossilfri på sikt. Samtidig, dersom vi utsetter overgangen mot et lavutslippssamfunn til det kommer på plass en global ambisiøs klimaavtale, vil vi risikere å bli innelåst med utslipp som det vil bli krevende å bli kvitt når de først er der. Ved å forsyne nye innretninger i petroleumssektoren med kraft fra land kan man unngå slik innlåsing. Infrastruktur som veier og bygninger har svært lang levetid og danner rammebetingelser for framtidige klimatiltak. Utbygging av infrastruktur må derfor også gjøres på en måte som unngår innlåsing av utslipp.

5.4 Mulige utslippsnivåer i 2030

5.4.1 Aggregering fra sektoranalysene

Som beskrevet i kapittel 4.1.2 er alle tiltakene utredet i sektoranalysene klassifisert etter kostnadskategori (<500 kr/tonn, 500-1500 kr/tonn og >1500 kr/tonn) og gjennomførbarhet (enkelt, middels krevende, krevende). Basert på dette er det laget tre tiltakspakker for hver sektor. I utgangspunktet inkluderer Tiltakspakke 1 (T1) tiltak som faller i laveste kostnadskategori og som er vurdert som forholdsvis enkle å gjennomføre. Tiltakspakke 2 (T2) inkluderer i tillegg til tiltakene fra Tiltakspakke 1 alle tiltak gruppert i middels kostnadskategori og som er middels krevende å gjennomføre. Tiltakspakke 3 (T3) inkluderer nesten alle utredete tiltak. I noen av sektorene er det mange tiltak som overlapper med hverandre (det vil si at flere tiltak virker på samme utslippskilde), og dette er tatt høyde for. Alle pakkene har tatt utgangspunkt i utslippet i referansebanen i 2030. I sektorer med forventet vekst inkluderer dermed tiltakene kutt i forventede utslipp som ikke finnes per i dag.

I sektorkapitlene er utslippsreduksjonene regnet i forhold til referansebanen for 2030. I dette kapittelet har vi oversatt disse utslippsreduksjonene til utslippsnivåer for å gjøre det enklere å sammenlikne med historiske utslipp. Vedlegg 7 inneholder en samletabell der utslippsreduksjonene er regnet i forhold til referansebanen for 2030.

Tabell 5-1 viser utslippsutviklingen per sektor fra 1990 til 2012 og hva utslippene vil være dersom henholdsvis tiltakspakke 1, 2 og 3 gjennomføres. De ulike sektorene har hatt ulik utslippsutvikling fra 1990 frem til i dag. Vi ser at petroleum og transport eksempelvis har hatt en relativt stor økning i utslipp fra 1990 til 2012, mens industrien har redusert sine utslipp. Dette kan være en faktor som påvirker mulighetsrommet for utslippsreduksjoner, men dette avhenger av hva som er årsaken til utslippsutviklingen.

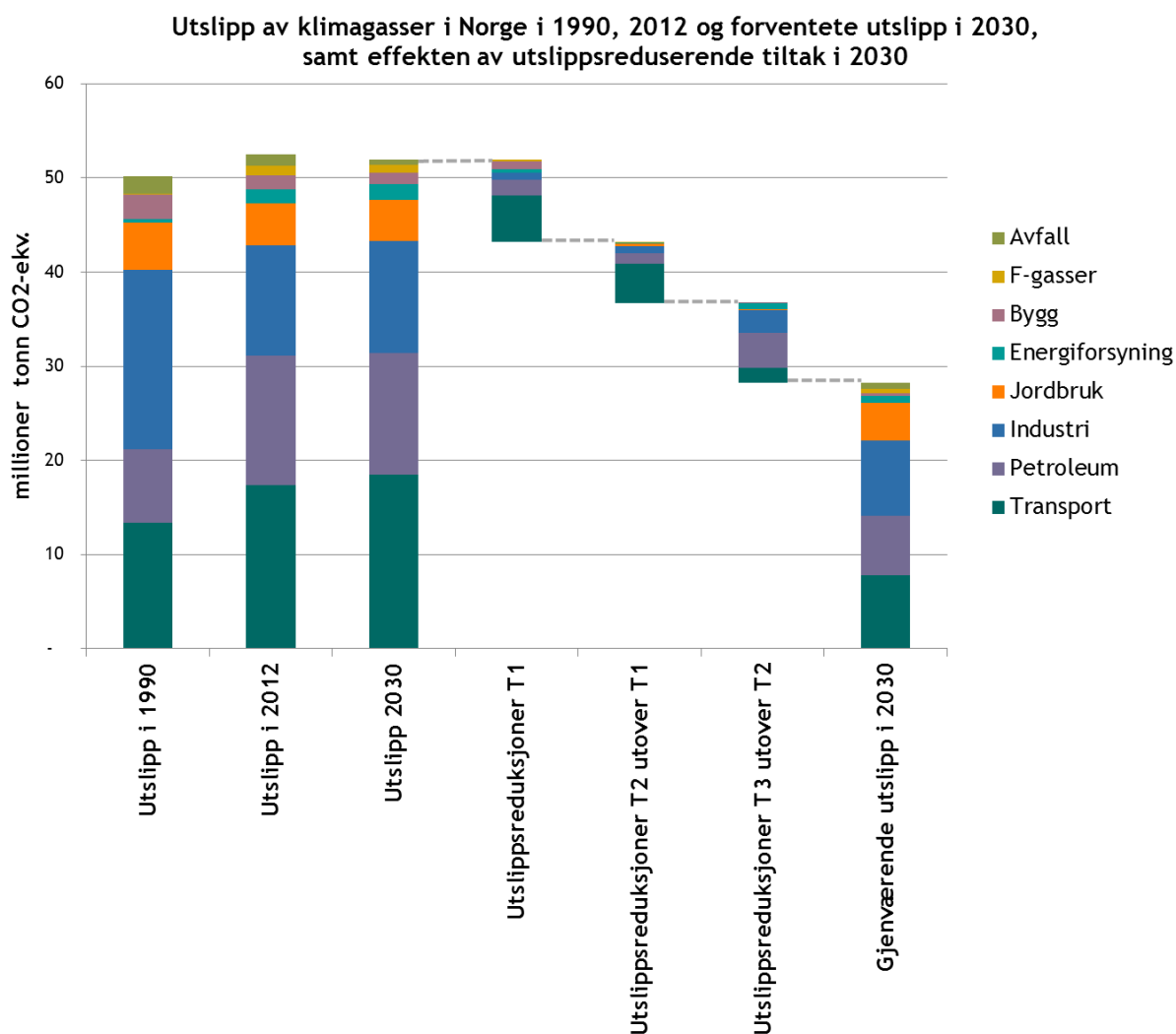
Tabell 5-1 Utslipp i 1990 og 2012, restutslipp i 2030 etter gjennomføring av Tiltakspakke 1,2 og 3 (T1, T2 og T3) (i mill. tonn CO₂-ekvivalenter)

	Utslipp i 1990	Utslipp i 2012	Restutslipp i 2030 T1	Restutslipp i 2030 T2	Restutslipp i 2030 T3
Bygg	2,6	1,5	0,3	0,3	0,3
Jordbruk	5,0	4,5	4,3	4,1	4,0
Transport	13,4	17,4	13,5	9,3	7,8
Avfall*	1,9	1,2	0,6	0,6	0,6
Petroleum	7,8	13,7	11,3	10,2	6,4
Industri	19,1	11,7	11,2	10,4	8,0
F-gasser	0,1	1,0	0,6	0,5	0,5
Energiforsyning	0,3	1,5	1,4	1,3	0,7
Totalt	50,4	52,7	43,5	37,0	28,5

* Effekten av tiltak og virkemidler i avfallssektoren er ført i sektoren der tiltakene gir utslippsreduksjon.

Tiltakspakke 1, 2, og 3 forventes å gi totale utslipp i 2030 på henholdsvis 43,5, 37,0 og 28,5 millioner tonn. Tiltakspakke 3 forutsetter flere ambisiøse tiltak, og til dels tiltak som går lengre enn det som har blitt utredet av Miljødirektoratet tidligere. Dette inkluderer derfor både tiltak med antatte kostnader over 1 500 kroner per tonn og tiltak som kan være krevende å gjennomføre. Differansen mellom tiltakspakke 1 og tiltakspakke 3 er på nesten 15 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030.

Figur 5-2 illustrerer resultatene i Tabell 5-1 og viser utslippsreduksjoner ved ulike nivåer av gjennomførte tiltak sammenlignet med utslippet i 1990, 2012 og 2030, samt beregnet gjenstående utslipp i 2030 om alle tiltakene gjennomføres.



Figur 5-2 Utslippsreduksjoner ved ulike tiltakspakker

Tabell 5-2 viser effekten av utslippspakkene som prosenter i forhold til utslippene i 1990.

Tiltakspakke 1 forventes å gi utslippsreduksjon på henholdsvis 14 % i forhold til 1990-nivå.
 Tiltakspakke 2 forventes å gi utslippsreduksjon på henholdsvis 26 % i forhold til 1990-nivå.
 Tiltakspakke 3 forventes å gi utslippsreduksjon på henholdsvis 43 % i forhold til 1990-nivå.
 Tiltakspakke 3 gir et ambisjonsnivå for Norge som ligger litt i overkant av det EU-kommisjonen har foreslått som EUs felles 2030-mål. Som nevnt i kapittel 5.2 over har imidlertid mange land, spesielt i Europa, i dag lavere utslipp enn i 1990, mens Norge av ulike årsaker har hatt en utslippsvekst.

Tabell 5-2 Utslippsnivå i forhold til 1990-nivå (i %) for de tre tiltakspakkene

	%-vis endring T1	%-vis endring T2	%-vis endring T3
Bygg	-88 %	-88 %	-89 %
Jordbruk	-14 %	-19 %	-21 %
Transport	0 %	-31 %	-42 %
Avfall	-67 %	-67 %	-67 %
Petroleum	45 %	31 %	-18 %
Industri	-41 %	-45 %	-58 %
F-gasser	996 %	827 %	827 %
Energiforsyning	360 %	340 %	134 %
Totalt	-14 %	-26 %	-43 %

5.4.2 Hva blir effekten av klimaforliket i 2030?

I Miljødirektoratets rapport *Faglig grunnlag for videreutvikling av den nasjonale og internasjonale klimapolitikken* (M-133) som vi laget på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet (KLD) i vår, ble det, som i Klimakur 2020, lagt til grunn at utslippene i 2020 må ned til 42-44 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, når skog er inkludert, for å nå klimaforlikets mål. Det ble videre antatt at Norge vil få godskrevet 3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter som følge av opptak av karbon i skog, slik at norske utslipp må reduseres til mellom 45–47 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2020, når skogtiltak ikke er inkludert.

Tiltakene som ble utredet i rapporten ga et samlet reduksjonspotensial på mellom 4,9–8,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2020. Rapporten konkluderte med at vi må oppnå utslippsreduksjoner som tilsvarer øvre del av det identifiserte potensialet for at det skal være overveiende sannsynlig at klimaforlikets mål nås, det vil si ned til 47 millioner tonn.

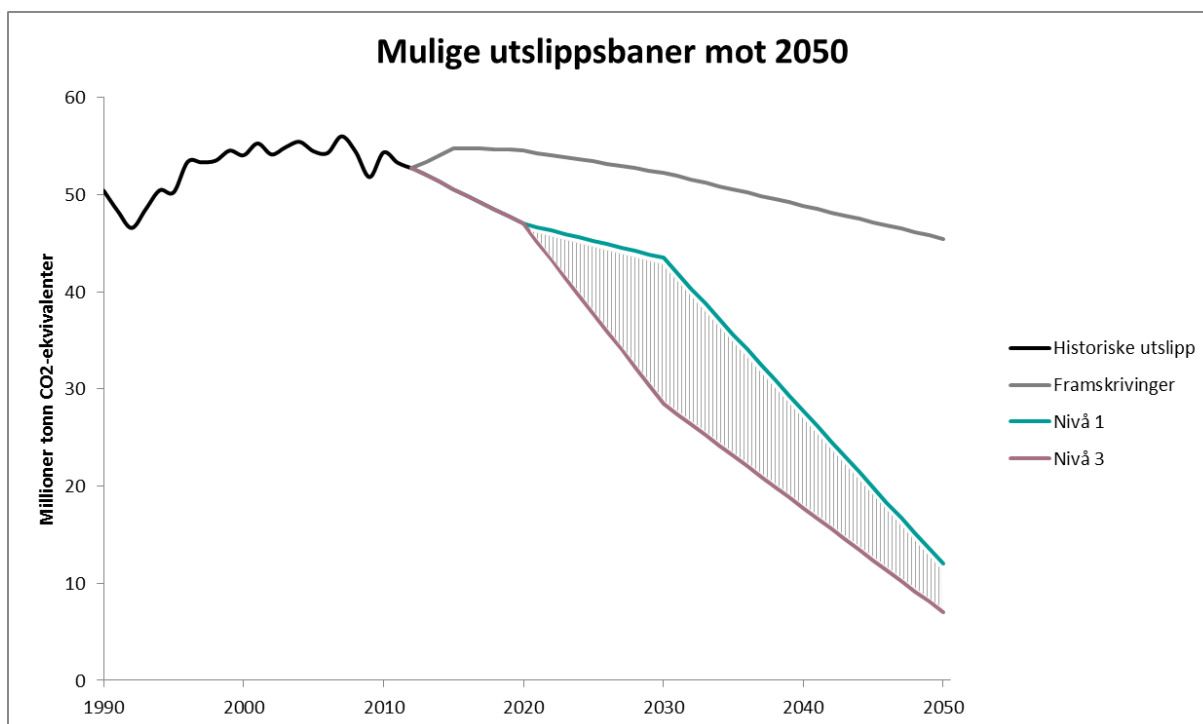
Vi har gjort en vurdering av om tiltakene for å oppnå klimaforliket kan gi økte utslippsreduksjoner mot 2030 om de gjennomføres innen 2020, eller om effekten vil være den samme også mot 2030. Resultatet av denne vurderingen er at effekten av tiltakene vil gi liten tilleggseffekt utover i perioden. Det forventes derfor at utslippsnivået i 2030 vil være på om lag 45 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, dersom tiltakene som ble skissert for å nå Klimaforlikets mål for 2020 blir gjennomført. Det inkluderer effekten av at referansebanen reduseres med om lag 2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter mellom 2020 og 2030.

Vi har også vurdert om det vil bli mer krevende og kostbart å kutte utslippene ytterligere etter 2020 dersom ikke klimaforlikets mål nås. Svaret er delt. Dersom oppnåelsen av klimaforliket forsinkes et par år vil dette ikke nødvendigvis endre potensialet for utslippskutt mot 2030. Samtidig vil det være mindre krevende og kostbart å forsyne nye petroleumsinnretninger med kraft fra land fra oppstart, enn å elektrifisere innretningene i ettertid. Man øker også potensialet for utslippskutt i transportsektoren ved å starte tidlig, siden det er tidkrevende å utvikle og implementere ny teknologi og gjennomføre store infrastrukturtiltak. Det vil også være mindre kostbart å forsere innfasingen av lav- og nullutslippskjøretøy enn å vrake kjøretøy før endt levetid.

5.5 Mulige utslippsbaner mot 2050

Utslippsbaner uten opptak av karbon fra skog og andre landarealer

Figur 5-3 illustrerer mulige utslippsbaner fra 1990, via 2020 og 2030, til 2050. I figuren er dette vist med utgangspunkt i at målet i klimaforliket oppnås innen 2020. Den sorte linjen representerer historiske utslipp. Den grå linjen representerer utslippsframskrivingene som er lagt til grunn for denne analysen. Den blå linjen representerer en lineær utslippsreduksjon fra utslippsnivået som følger av klimaforliket i 2020, til utslippsnivået som følger av tiltakspakke nivå 1 i 2030. Tilsvarende representerer den røde linjen en lineær utslippsreduksjon fra utslippsnivået som følger av klimaforliket i 2020, til utslippsnivået som følger av tiltakspakke 3 i 2030. Vi har ikke lyktes i å gjøre særskilte beregninger for 2025. Mot 2050 er linjene strukket videre ned til et mulig utslippsintervall for Norge som lavutslippssamfunn i 2050, under forutsetning av at landene rundt oss også gjennomfører en ambisiøs klimapolitikk. Det er ikke slik at linjene vil være glatte i praksis, men komme mer som trappetrinn som følge av at større tiltak som for eksempel CCS ved et industrianlegg gjennomføres. Det er ikke mulig å fastslå nøyaktig når slike tiltak eventuelt vil komme.



Figur 5-3 Mulige utslippsbaner fra 1990 til 2050.

Tiltakene som ligger inne i tiltakspakke 1 er beregnet å bringe utslippene ned til om lag 43,5 millioner tonn i 2030. Dette er litt under det vi forventer vil være effekten i 2030 av at klimaforliket gjennomføres innen 2020. Tiltakene som inngår i nivå 1 gir imidlertid ingen garanti for at klimaforlikets mål nås i 2020, men dette vil avhenge av innfasingstakten. I rapporten *Faglig grunnlag for videreutvikling av den nasjonale og internasjonale klimapolitikken* (Miljødirektoratet, 2014b) ble det lagt til grunn gjennomføring av CO₂-fangst og lagring i industrien, samt overgang til biokull i ferrolegeringsindustrien, for å nå klimaforlikets mål i 2020. Disse tiltakene er ikke inkludert i tiltakspakke 1, men tiltakspakke 1 inneholder til gjengjeld større utslippsreduksjoner i transportsektoren fordi man da har 10 år lengre tid til å innfase tiltak.

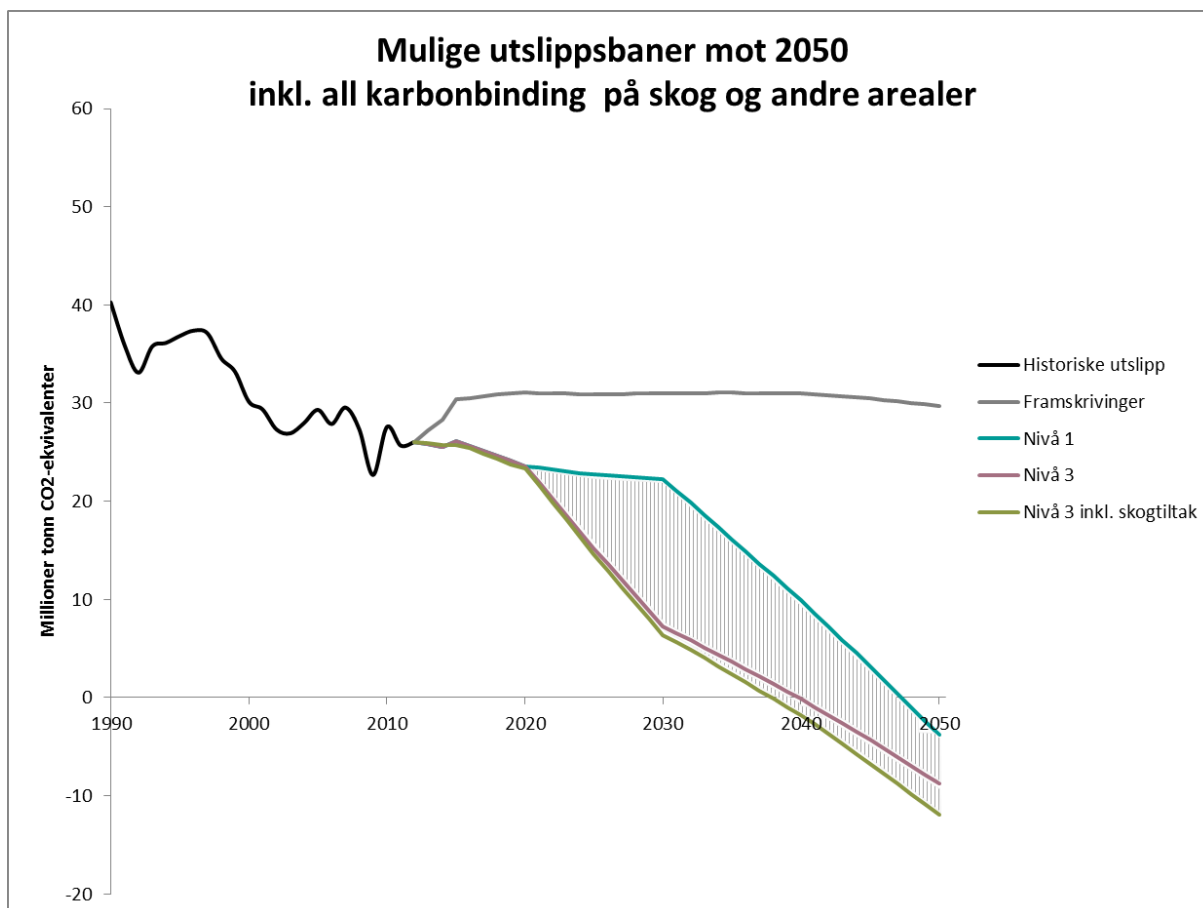
Tiltakene som ligger inne i tiltakspakke 3 forventes å gi en utslippsreduksjon på om lag 43 % i forhold til 1990-nivå i 2030, altså litt i overkant av EU-kommisjonens forslag om 40 % kutt i forhold til 1990-nivå for hele regionen. Dette illustrerer at dersom Norge skal legge seg på samme ambisjonsnivå som EU, så vil det være nødvendig å gjennomføre tiltak som både er krevende å gjennomføre og dyre. En viktig forklaringsfaktor er at mens EU har redusert sine utslipp av klimagasser med 19,2 % i perioden 1990-2012, har Norge økt sine utslipp med 4,6 % i samme periode. Mange av de billigste tiltakene i EU-landene vil være å fase ut fossil kraftproduksjon med fornybar. Denne muligheten har ikke Norge, ettersom vi allerede har en tilnærmet utslippsfri kraftproduksjon. Et utslippsmål for EU som helhet gir større fleksibilitet i tiltaksgjennomføringen enn et nasjonalt utslippsmål for Norge. Det må også presiseres at vi har vurdert tiltakene partielt og at det vil kunne oppstå kapasitetsproblemer i økonomien dersom mange av de store teknologitiltakene skal gjennomføres på kort tid.

Utslippsnivået i 2050 er grovt anslått til mellom 7-12 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Dette forutsetter teknologiutvikling både i Norge og resten av verden. Hvis man kun gjennomfører tiltakspakke 1 mot 2030 vil dette kreve utslippsreduksjoner på nesten 4 % per år i perioden mellom 2030 og 2050 for å komme ned på et utslippsnivå på middelveien av det anslåtte intervallet for 2050.

Utslippsbaner med opptak av karbon fra skog og andre landarealer

For å unngå farlige klimaendringer er det sentralt å begrense utslippene av klimagasser. I en helhetlig tilnærming til lavutslippssamfunnet bør alle sektorer inngå. Det er derfor på sin plass å illustrere utviklingen dersom man også tar med sektoren for skog og andre landarealer. Som vi har beskrevet i kapittel 4.10 har skog og andre landarealer et årlig nettoopptak av CO₂-ekvivalenter. Dette gjør sektoren forskjellig fra de andre sektorene i Norge. Dersom vi inkluderer dette opptaket i referansebanen har vi et lavere samlet nettoutslipp; rundt 40 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 1990. Nettoutslipp i 2050 vil være rundt 30 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Framskrivningen i Figur 5-3 viser totalt netto utslipp fra Norge for alle sektorer, inkludert skog og andre landarealer.

Det er viktig å presisere at tallene som presenteres her inkluderer hele nettoopptaket i sektoren skog og andre landarealer. Under Kyotoprotokollen har man ikke hatt anledning til å bokføre alle utslipp og opptak fra sektoren skog og andre landarealer. Det er imidlertid uvisst hvordan sektoren vil inkluderes i en klimaavtale post-2020.



Figur 5-4 Mulige utslippsbaner mot 2050 inkludert alle utslipp og opptak i sektoren "skog og andre landarealer" (LULUCF), dvs uten de begrensninger som dagens bokføringsregler under Kyotoprotokollen angir.

Figur 5-4 viser at ved å inkludere opptaket i skog og andre landarealer, vil vi kunne ha negative utslipp rundt år 2045 dersom vi implementerer alle tiltakene inkludert i tiltakspakke 1. Implementerer vi tiltakene i tiltakspakke 3 i tillegg til skogtiltakene, vil vi ha negative utslipp allerede før 2040. Dersom vi ikke implementerer noen tiltak som reduserer utslipp, men bare implementerer tiltak i sektoren for skog og andre landarealer, vil Norges utslipp ligge på ca. 30 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2050.

For å sikre overgangen til et lavutslippssamfunn bør opptaket i skog og andre landarealer komme i tillegg til, og ikke til erstatning for, utslippsreduksjoner i andre sektorer.

5.6 Kostnader

5.6.1 Innledning

Det er svært krevende å anslå både hva kostnadene for de enkelte tiltak vil bli og spesielt hva den totale kostnaden for Norge vil bli for ulike nivåer av utslippsreduksjoner i et så langt tidsperspektiv, og som samtidig vil kreve så store endringer både i Norge og i verden rundt oss. Det at endringene er såpass store og gjennomgripende gjør at de verktøyene vi har innen samfunnsøkonomisk analyse har begrensninger. Som vi er inne på flere steder i denne rapporten vil det være helt avgjørende for kostnadene hvorvidt resten av verden også jobber mot togradersmålet. Kostnaden ved nødvendig teknologiutvikling kan ikke bæres av Norge alene, og det vil uansett være svært usikkert hvilke teknologier som får gjennombrudd og når dette skjer. For eksempel vil kostnadene i

transportsektoren avhenge av når elbiler, og kanskje også hydrogenbiler, kan konkurrere med bensin og dieslbiler uten offentlig støtte. Vi har derfor valgt å plassere de ulike tiltakene i kostnadskategorier for å synliggjøre den store usikkerheten i estimatene. Når dette er sagt så er det likevel slik at tiltakene som er vurdert er av svært ulik type og grad av usikkerhet. I noen tilfeller er det liten usikkerhet om hvilke tiltak som er nødvendig for å nå togradersmålet, for eksempel bygging av infrastruktur som kan legge til rette for økt andel sykling eller mer offentlig kommunikasjon, men det kan likevel være en viss usikkerhet knyttet til hvor store kostnadene blir. I kapittel 5.6.2 sammenstiller og oppsummerer vi de sektorvise tiltaksvurderingene.

Som et supplement til de sektorvise vurderingene har vi fått gjennomført noen modellberegninger i TIMES utført av Institutt for Energiteknikk (IFE). Resultatene fra TIMES-kjøringen gir en indikasjon på hvilke faktorer som betyr mest for hvor store kostnadene knyttet til å nå ulike mål om utslippsreduksjoner i 2030 blir. Den omfatter også beregning av totale kostnader og utslippsreduksjoner i de sektorene modellen dekker. Se kapittel 5.6.3.

5.6.2 Kostnadsberegninger basert på sektorvurderingene

Tabell 5-3 oppsummerer de sektorvise tiltaksvurderingene og viser fordelingen av utslippsreduksjoner i tonn i 2030 for hver kostnadskategori i tiltakspakke 3 (som inneholder alle tiltakene). Resultatene indikerer at vi kan oppnå utslippsreduksjoner på omkring 7 millioner tonn fram mot 2030 til en tiltakskostnad på under 500 kroner per tonn og ytterligere 5 millioner tonn til en kostnad på inntil 1500 kroner per tonn. Totalt ser det altså ut til at man kan oppnå over 12 millioner tonn reduksjoner til en tiltakskostnad på under 1500 kr per tonn. De resterende utslippsreduksjonene, på i overkant av 11 millioner tonn, er vurdert å ha kostnader over 1500 kroner per tonn.

I både transport- og petroleumssektoren kommer omtrent halvparten av utslippsreduksjonene i den høyeste kostnadskategorien, mens altså den andre halvparten, som tilsvarer utslippsreduksjoner på omkring 8 millioner tonn, ser ut til å være mulig for en kostnad på under 1500 kr per tonn. Over halvparten av disse tonnene igjen (4,5 millioner) er plassert i den laveste kostnadskategorien. Som forklart i petroleumskapittelet, har vi ikke lyktes i å få oppdaterte kostnadstall for tiltakene fra Klimakur 2020 i petroleumssektoren. Dette innebærer at vi per forutsetning har plassert tiltak som går på områdeelektrifisering av eksisterende felt i kostnadskategori > 1500 kr pr tonn. Her vil det kunne komme endringer når vi får oppdaterte kostnadstall fra Oljedirektoratet.

For transportsektoren gir ikke Tabell 5-3 et fullstendig bilde. I denne sektoren er det en større andel av tiltakene som er forventet å være i den laveste kostnadskategorien enn i de to andre tiltakspakkene som er laget. Tiltakspakke 1, der tiltakene er vurdert til å ha en kostnad på under 500 kr/tonn CO₂-ekvivalenter, er for eksempel anslått til å gi en utslippsreduksjon på cirka 5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

For industrisektoren er godt over halvparten av utslippsreduksjonene, eller 2,4 millioner tonn, anslått å ha en tiltakskostnad på under 1500 kr per tonn. Ytterligere 1,5 millioner tonn er identifisert. Det er verdt å merke seg at vi har valgt å legge tre av CCS-tiltakene inn med kostnader over 1500 kroner per tonn. Dette gjelder Yara Porsgrunn, Mongstad krakker og Mongstad kraftvarmeverk. Kostnaden for CCS på sementproduksjon ved Norcem Brevik antas å være noe lavere og er lagt i kategorien 500-1500 kroner per tonn.

Byggsektoren har en stor andel av utslippsreduksjonene i den laveste kostnadskategorien og disse kan bidra med omkring 900 000 tonn utslippsreduksjoner. Innenfor jordbrukssektoren er alle utslippsreduksjonene plassert i de to laveste kostnadskategoriene og disse utslippsreduksjonene

summerer seg opp til cirka 400 000 tonn. Reduksjon i utslipp av F-gasser i produkter kan gi utslippsreduksjoner på omkring 300 000 tonn.

Tabell 5-3 Fordeling av tiltak på kostnadskategori for tiltakspakke 3.

Sektor	Under 500 kr/tonn	500-1500 kr/tonn	>1500 kr/tonn
Transport	2 870 000	2 470 000	5 350 000
Petroleum	1 675 000	1 075 000	3 803 000
Industri	1 100 000	1 135 000	1 620 000
Jordbruk	228 000	183 000	-
Energiforsyning	270 000	110 000	620 000
F-gasser	190 000	95 000	-
Bygg	880 000	20 000	20 000
Avfall*	-	-	-
Totalt	7 213 000	5 088 000	11 413 000

* Effekten av tiltak og virkemidler i avfallssektoren er ført i sektoren der tiltakene gir utslippsreduksjon.

5.6.3 Kostnadsberegninger med basis i TIMES-Norway

I tillegg til de sektorvise tiltaksvurderingene har vi fått gjennomført noen modellberegninger i optimaliseringsmodellen TIMES-Norway⁴¹. I analysene som er gjennomført er det sett på tiltak innen transportsektoren, byggsektoren, energiforsyning og deler av industrisektoren. Tiltak relatert til petroleumsaktivitet og prosessutslipp fra industrien har ikke vært analysert med TIMES-Norway fordi modellen ikke er tilrettelagt for å analysere disse utslippene.

Om modellen TIMES-Norway

TIMES-Norway er en optimaliseringsmodell som benyttes for analyser av det norske energisystemet. TIMES er en lineær, bottom-up, dynamisk modellgenerator som er utviklet i regi av IEA (som en del av ETSAP, Energy Technology Systems Analysis Program). TIMES-Norway er utviklet på Institutt for energiteknikk (IFE) på oppdrag fra Norges vassdrags og energidirektorat (NVE).

Av de totale klimagassutslippene i Norge dekker modellen omkring halvparten⁴². Modellen beregner effekten på CO₂-utslippet, men tar ikke hensyn til andre klimagasser (CH₄, N₂O etc.). Det er altså reduksjoner av CO₂, ikke CO₂-ekvivalenter, som presenteres i dette kapittelet. Priser for elektrisitet og fjernvarme som produseres innenfor landets grenser beregnes i TIMES-Norway, mens priser på importerte energibærere og energietterspørselen i hver sektor legges inn eksogent. TIMES-Norway er beskrevet mer detaljert i IFE-rapporten *TIMES-Norway Model Documentation*, (IFE, 2013).

Referansebanen sier oss hva vi antar utslippene vil være uten endringer i politikk og brukes for å kunne se på effekten av ulike tiltak sammenlignet med denne referansesituasjonen. Referansebanen i TIMES-analysene er utviklet av IFE basert på et pågående arbeid i regi av CenSES (Centre for

⁴¹ TIMES-modeller brukes av mange ulike aktører, blant annet det internasjonale energibyrå i Paris (IEA), EUs forskningscenter Joint Research Centre og Department of Energy i USA, men også og ved forskningsmiljøer i mange land slik som Norge, Sverige, Danmark, Tyskland, Nederland, Russland, Japan m.fl.

⁴² Modellen dekker egentlig ca. to tredjedeler av utslippene, men kun halvparten av utslippene har muligheter for tiltak.

Sustainable Energy Studies), hvor en omforent energiframskrivning mot 2050 skal utarbeides. Denne referansebanen er justert slik at det totale utslippet i startåret for de sektorene som omfattes er det samme som i referansebanen som Miljødirektoratet legger til grunn for de andre delene av denne rapporten (PM2013). Referansebanen i TIMES er svakt synkende fra 31,8 millioner tonn CO₂ i 2010 til 29,8 millioner tonn CO₂ i 2030 og ligger dermed ca. 2 millioner tonn lavere enn utslippet fra disse sektorene i Miljødirektoratets referansebane. Energiprisene for importert energi i referansebanen er basert på IEAs *World Energy Outlook 2013, New Policy scenario* (IEA, 2013b).

Tiltakene som modellen kan utløse inkluderer blant annet: Energieffektivisering, bruk av bioenergiprodukter, elbiler, skifte av energibærer fra olje til gass, CCS i industrien (Mongstad) og ulike hydrogenteknologier.

Scenarier og kjøring

IFE har gjennomført en rekke kjøring med ulike forutsetninger. Vi velger å fremheve to ulike scenarier som belyser noen viktige resultater. I scenario A-kjøringene (se Tabell 5-4) er det lagt til grunn de samme energiprisene som i referansebanen. I scenario B har man brukt de energiprisene som IEA antar er konsistente med togradersmålet (*World Energy Outlook 2013* (IEA, 2013b), 450ppm scenario) og en raskere lærecurve for personbiler med nullutslipp (prisene for hydrogen- og elbiler faller raskere). I tillegg er det lagt inn begrensning på bruk av biodrivstoff på maksimalt 20 % i transportsektoren og det er åpnet opp for at det innenfor byggsektoren kan gjennomføres energieffektiviseringstiltak. Begrensningene på biodrivstoff er innført på bakgrunn av en vurdering av tilgjengeligheten av biodiesel og fordi kostnadene som ligger inne i TIMES kan være undervurdert ved høy innblanding.

For begge scenarier er det gjennomført modellkjøring av tiltak som fører til utslippsreduksjoner på mellom 25 % og 40 % i 2030 i forhold til 1990-utslippene. I scenario A er det i tillegg lagt inn et mål for utslippene i 2025 som ligger 5 prosentpoeng under målet for 2030. Denne bindingen er ikke lagt inn i scenario B. I alle kjøring gjennomfører modellen en kostnadsoptimering der det tas hensyn til de utslippsbegrensningene og eventuelt andre forutsetninger som er satt. Det er viktig å være klar over at transportsektoren, som er den sektoren som omfattes av TIMES som har størst utslipp, har økt sine utslipp mye siden 1990 og utslippene er forventet å fortsette å øke også fram mot 2030. Dette bidrar til at det blir mer krevende å nå de angitte utslippsreduksjonene. For eksempel vil 30 % reduksjon i forhold til 1990 bety ca. en halvering av de forventete utslippene i 2030.

Kostnader

I det følgende presenteres kostnader for scenario A og B med ulike utslippsbegrensninger. Kostnadene som oppgis er *merkostnader*, altså kostnader målt i forhold til referansebanen. Basisåret for beregningene er 2010. 2010 er også startåret for modellen, det vil si at den allerede fra 2011 vil kunne avvike fra referansebanen og for eksempel gjennomføre tiltak som gir reduserte utslipp. Dette kan føre til at kostnadene blir underestimert, men i praksis skjer de største tiltakene i modellen først etter 2020 slik at feilen antakelig ikke er veldig stor. I Tabell 5-4 og Tabell 5-5 vises totale utslippsreduksjoner, gjennomsnittskostnad og totalkostnad ved ulike krav til utslippsreduksjoner i 2030.

Tabell 5-4 Scenario A-kjøringer (WEO New policy energipriser, ingen begrensning på biodiesel, 2025-mål).

Prosentvis utslippsreduksjon ifht. 1990-utslipp	Akkumulerte utslippsreduksjoner (mill. tonn CO2)	Gjennomsnittskostnad (kr/tonn CO2)	Totalkostnad (mrd. kroner)	Årlig kostnad (mrd. kroner)
25 %	87	340	29	2,2
30 %	100	1 040	104	7,7
35 %	132	1 714	226	16,7
40 %	136	2 301	312	23,0

Tabell 5-5 Scenario B (WEO 450 ppm-energipriser, begrensning på 20 % biodiesel, energieffektiviseringstiltak tilgjengelig for byggsektoren, ingen 2025-krav).

Prosentvis utslippsreduksjon ifht. 1990-utslipp	Akkumulerte utslippsreduksjoner (mill. tonn CO2)	Gjennomsnittskostnad (kr/tonn CO2)	Totalkostnad (mrd. kroner)	Årlig kostnad (mrd. kroner)
25 %	57	36	2	0,2
30 %	69	1 571	108	7,9
35 %	72	2 580	186	13,7
40 %	76	3 676	279	20,6

Vi ser at for 25 % reduksjon av CO₂-utslippene er de gjennomsnittlige kostnadene lave i begge scenarioer. Ved 30 % utslippsreduksjon vokser totalkostnad og gjennomsnittskostnad kraftig i begge scenarioer. Dette tyder på at dersom man skal øke fra 25 % til 30 % reduksjon blir det nødvendig med tiltak som er svært dyre. Ettersom vi ser samme tendens i begge scenarioer er det grunn til å anta at resultatet er relativt robust for endringer i forutsetningene. Den viktigste årsaken til den bratte kostnadsøkningen er antakelig en økt innfasing av hydrogenteknologi i transportsektoren. Tiltak knyttet til hydrogentiltak for busser og tunge kjøretøy er spesielt dyre i modellen. I scenario A benyttes ikke hydrogendrift på kjøretøy i det hele tatt ved 25 % reduksjon, mens ved 30 % reduksjon er 15 % av energiforbruket til transportsektoren hydrogen. I scenario B vil også en økning fra 25 % til 30 % reduksjon kreve betydelig mer bruk av hydrogen.

Det kan altså se ut som man kan klare inntil 25 % utslippsreduksjon i de sektorene som modellen inkluderer for en relativt lav kostnad. Dersom man skal øke utslippsreduksjonene vesentlig utover 25 % i forhold til 1990-utslippene, vil dette føre til relativt høye kostnader eller kreve et teknologisk gjennombrudd for hydrogenteknologier innen transportsektoren, også for de tunge kjøretøyene. Det er viktig å være oppmerksom på at tiltak i transportsektoren i modellen er begrenset til teknologiske tiltak, det vil si at modellen ikke inkluderer tiltak som reduserer transportomfang eller flytter personer eller gods fra et transportmiddel til et annet. I tillegg er det kun et begrenset antall tekniske tiltak som er lagt inn i modellen, noe som begrenser mulighetene for utslippsreduksjoner. Blant annet er sjøtransport modellert på en forenklet måte, slik at det kan finnes billige tiltak innen sjøtransport som ikke ligger inne i modellen. For eksempel så kommer batteri- og hybriddrift av skip ut som rimelige tiltak i sektorkapittelet for transport i denne

rapporten (se kapittel 4.4 Transport). Dette kan tyde på at det er mulig med noe større utslippsreduksjoner enn 25 % i 2030 sammenlignet med 1990-utslippene uten at kostnadene øker i like stor grad som resultatene fra modellkjøringene kan tyde på.

Vi ser også at kostnaden for alle reduksjonsmål, med unntak av for 25 % reduksjon, er høyere i scenario B enn i scenario A. Det er sannsynlig at den høyere kostnaden i scenario B kommer som en følge av begrensningen på innblanding biodrivstoff og antakelig har også de endrete energiprisene betydd en del.

6. Energi

6.1 Innledning

Forbruk av energivarer og aktivitet i energinæringene står for hoveddelen av de norske klimagassutslippene. I 2012 var 74 prosent av Norges totale utslipp knyttet til energiforbruk på land, energiforbruk offshore, samt diffuse utslipp fra energivarer (inkl. fakling).⁴³ I tillegg kommer utslipp knyttet til forbruk av energivarer som råvarer i industrien, for eksempel bruk av kull som reduksjonsmiddel. Klimagassutslipp fra energiforbruk er behandlet sektorvis i foregående kapitler. Dette kapitlet vil derfor ikke fokusere på utslipp, men på hvordan utslippskutt kan ha konsekvenser for etterspørsel etter og produksjon av energi, med vekt på elektrisk energi og bioenergi.

Kapitlet gir først en overordnet beskrivelse av dagens energibruk og så en oppsummering av mulig endret etterspørsel etter elektrisitet og bioenergi i 2030, basert på de sektorvise tiltakene omtalt i kapittel 4. Det vil bli gitt en omtale av mulig utvikling i Norge på produksjonssiden for elektrisk energi og bioenergi og norsk elkrafts rolle i Europa. Til slutt kommer en gjennomgang av konsekvenser for naturmangfold ved økt produksjon av fornybar energi i Norge.

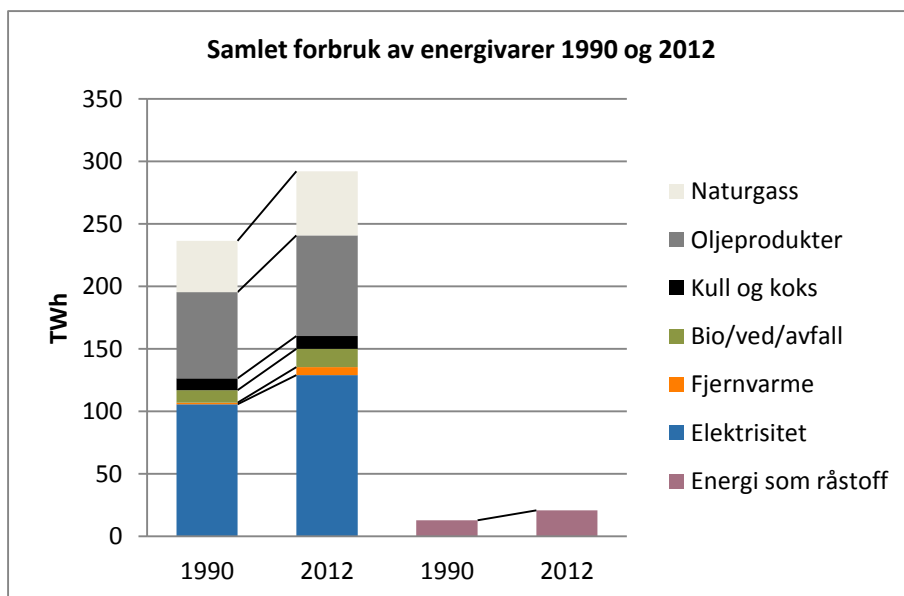
6.2 Energieterspørsel i Norge

6.2.1 Dagens situasjon

Energibruk i fastlands-Norge utgjorde omlag 240 TWh i 2012. I tillegg utgjorde energiforbruket i olje- og gassutvinning om lag 55 TWh og energivarer brukt som råstoff i industrien om lag 21 TWh (Miljødirektoratet et al., 2014a). Det har vært en betydelig vekst i etterspørsel etter energi i Norge de siste to tiårene. Figur 6-1 viser utviklingen i forbruk av energivarer fra 1990 til 2012. I perioden 1990-2012 steg samlet energiforbruk i Norge med 27 prosent.⁴⁴ De viktigste årsakene til dette er økt aktivitet i olje- og gassektoren og økt veitransport. De siste årene har imidlertid veksten i samlet energietterspørsel avtatt.

⁴³ Dvs. "Energy" i.h.t. Norges rapportering til UNFCCC (Miljødirektoratet et al., 2014a)

⁴⁴ Med samlet energiforbruk menes her postene netto innenlands forbruk inkl. råstoff, eget forbruk i energinæringene og svinn i SSBs energibalanse.



Figur 6-1 Samlet forbruk av energivarer i Norge 1990 og 2012. Basert på SSB energibalansen. Energi som råstoff er fossile energivarer.⁴⁵ Gruppering i energivarer er gjort av Miljødirektoratet.

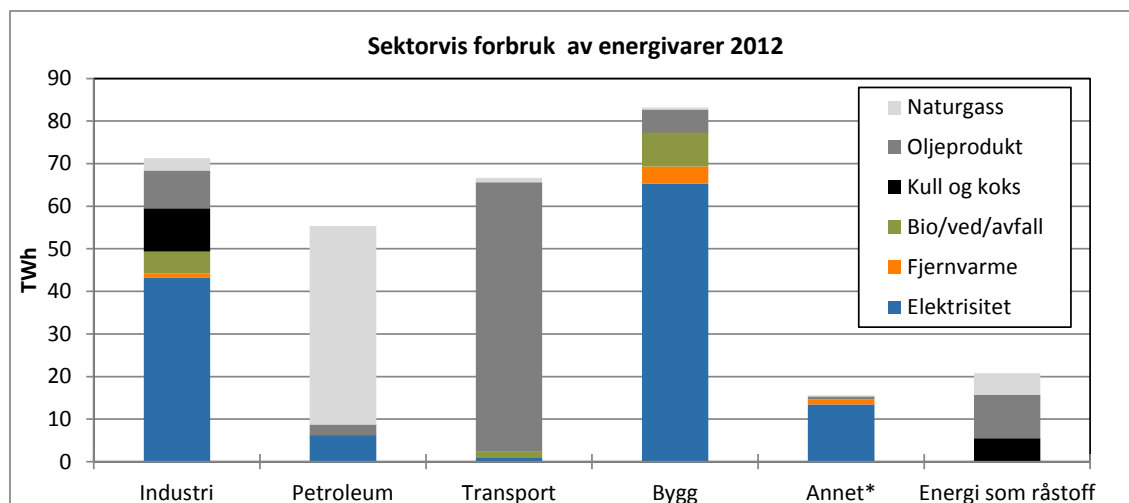
I flere sektorer brukes energien stadig mer effektivt. Innenfor energiintensiv industri er energibruk per produksjonsverdi i faste kroner nesten halvert fra 1976 til 2012.⁴⁶ Tjenesteytende næringer har hatt en tilsvarende nedgang i samme periode. I husholdningene steg temperaturkorrigert energibruk per person mot 1990 for deretter å flate ut. Energiintensiteten i olje- og gassutvinning målt som energibruk per produsert enhet falt i perioden 1990-1999 med 24 prosent, men steg deretter med 37 prosent i perioden fra 1999-2009 (SSB, 2012). Dette skyldes blant annet økt andel gassproduksjon som er mer energikrevende enn oljeproduksjon. En generell aldring av feltene og lengre avstander for gasstransport bidro også til dette.

Figur 6-2 viser sektorvis energiforbruk i 2012 fordelt på energivarer. Elektrisitet er den dominerende energibæreren i Norge og utgjorde rundt 41 prosent av samlet energiforbruk i 2012.⁴⁷ Andelen er omtrent uendret fra 1990. Byggsektoren står for den største andelen av el-etterspørselen, etterfulgt av industrisektoren og petroleumssektoren. Siden ca. 1990 har veksten i etterspørsel etter elektrisitet avtatt, dette skyldes blant annet energieffektivisering i de fleste sektorer og nedleggelser i industrien. Den eneste sektoren som nå har betydelig vekst i bruken av elektrisitet er petroleumssektoren (NVE, 2014b).

⁴⁵ Fordeling på energivarer som råstoff for 2012 er gitt i neste figur. Fordeling for 1990 er usikker.

⁴⁶ 1976 var første året med samlet tall for energibruk i Norge.

⁴⁷ Denne andelen refererer til samlet energiforbruk som ellers i dette delkapittelet - ikke fornybarandelen etter fornybardirektivet.



Figur 6-2 Forbruk av energivarer i Norge basert på SSB energibalansen 2012. Gruppering i sektorer og energivarer er gjort av Miljødirektoratet. *Tap i distribusjonsnett og kraft brukt til pumpekraft er hoveddelen av dette.

Fossile energivarer (oljeprodukter, gass, kull og koks) utgjorde nærmere halvparten av samlet forbruk av energivarer både i 1990 og 2012. I 2012 utgjorde drivstoff til transportsektoren og naturgass til olje- og gassutvinning rundt 70 prosent av den fossile energibruken i Norge. Naturgass til olje- og gassutvinning har hatt en betydelig vekst. I transportsektoren har bruken av oljeprodukter (bensin/diesel) steget kraftig siden 1990. I samme periode har oljeprodukter til oppvarmingsformål i industrien og i byggsektoren gått betydelig ned. Samlet sett gir dette en økning i bruken av oljeprodukter fra 1990 til 2012. I tillegg brukes det en betydelig mengde energivarer som råstoff i industrien, hovedsakelig LPG og naturgass i petrokjemisk industri og kull og koks i metallindustrien.

Bioenergi brukes i flere sektorer, men i relativt begrenset omfang. Oppvarming i husholdningene utgjorde noe over halvparten av etterspørsel etter bioenergi i 2012. Videre benyttes bioenergi i industrien (hovedsakelig i treforedlingsindustrien, trelastindustrien og sementindustrien) i noe omfang. I transportsektoren benyttes biodiesel, bioetanol og biogass, hoveddelen av dette er biodiesel innblandet i drivstoff til veitrafikk som følge av omsetningskravet fra 2009. Fjernvarme og bioenergi har delvis erstattet fyringsoljer som oppvarmingsløsning i byggsektoren. Bruken av fjernvarme har økt kraftig siden 1990 og forbruket hadde i 2012 et omfang på 4,2 TWh levert til forbrukere. I 2012 ble om lag halvparten av denne varmen produsert av biomasse når bioandelen i avfall regnes med. Avfall, elektrisitet (13 prosent), fossile brensler (8 prosent) og spillvarme utgjorde resten.

6.2.2 Etterspørselskonsekvenser av mulige tiltak mot 2030

Tiltaksutredningene i kapittel 4 har anslått endret etterspørsel etter elektrisk energi og bioenergi som følge av tiltakene som er utredet. I det følgende vil disse resultatene bli oppsummert. Tallene anslår hvilken konsekvens tiltakspakkene isolert sett vil ha i 2030. Anslagene må anses som en teknisk vurdering av nødvendig mengde energi for at tiltakspakkene kan gjennomføres. Tallene tar ikke stilling til hva total etterspørsel etter elektrisk energi og bioenergi vil bli i 2030. Det vises til de enkelte sektorkapitlene for nærmere beskrivelse av innholdet i de enkelte tiltakene.

Forbehold:

- For mange av tiltakene kan flere energivarer dekke samme behov. En annen fordeling mellom energivarer enn angitt her er fullt mulig.
- Energiberegningene er basert på partielle beregninger for hver sektor. Det ligger ikke en helhetlig energisystemanalyse til grunn for tallene. Overlapp mellom tiltak innenfor hver sektor er imidlertid tatt hensyn til.
- Energiberegningene er ikke basert på en kostnadsoptimalisering. En annen fordeling mellom energivarer enn angitt her kan være mer kostnadsoptimal.
- Markedsmessige forhold, prisutviklingen på energivarer og virkemiddelbruk er avgjørende for hvordan etterspørselen etter energi vil utvikle seg. Det ligger ikke en eksplisitt analyse av slike forhold til grunn for tallene.
- Teknologiforbedringer og teknologigjennombrudd kan endre bildet for etterspørsel etter energi vesentlig.
- Det er i dette kapittelet ikke gjort noen overordnede vurderinger av om f.eks. kapasitet i overføringsnett eller den lokale tilgangen på bioenergi er en begrensende faktor.
- Aktivitetsnivå i industrisektoren og olje- og gasssektoren har stor betydning for energietterspørsel. En annen utvikling enn hva som er forutsatt i denne rapporten kan endre bildet for energietterspørsel vesentlig.
- Som for rapporten for øvrig kan andre forutsetninger for befolkningsutvikling, økonomisk utvikling og andre samfunnsmessige forhold også endre bildet for energietterspørsel vesentlig.

I Tabell 6-1 og Tabell 6-2 er det angitt spenn for endret etterspørsel etter elektrisk energi og bioenergi for de fem sektorene som i dag har en etterspørsel av betydning. "Lavt anslag" og "høyt anslag" i tabellene refererer altså til energietterspørsel.

Tiltak som inkluderer hydrogen forutsetter hydrogenproduksjon fra elektrisitet. I transporttiltakene er det antatt en totalvirkningsgrad (produksjon, lagring, komprimering, distribusjon, bruk) på 35 prosent for hydrogen i kjøretøy.

Anslagene er netto etterspørsel etter energi. Tallene for bioenergi tar ikke stilling til råstoff eller produksjonsmetode for biodrivstoff og annen bioenergi utover det som er beskrevet for tiltakene i de enkelte sektorkapitlene.

Tabell 6-1 Anslag på konsekvenser for etterspørsel - elektrisk energi.

Elektrisk energi [TWh /år]			
Anslag på konsekvenser av tiltak i 2030			
Sektor	Anslag	Lavt anslag	Høyt anslag
Transport	+4,2 til +16	-Effekten av "tiltakspakke 1" beskrevet i sektorkapittelet inkludert forutsetning om at nullutslipps-kjøretøy er batterielektrisk (ingen hydrogenkjøretøy). Effekt av transportreduserende tiltak er inkludert. -Økt el-forbruk som følge av økt transport med bane i "tiltakspakke 1" er ikke tatt hensyn til. Dette forbruket er trolig lite sammenliknet med tiltakspakken for øvrig.	-Effekten av "tiltakspakke 3" beskrevet i sektorkapittelet og forutsetning om at nullutslipps-kjøretøy bruker hydrogen (ingen batterielektriske kjøretøy) og at hydrogen er produsert fra elektrisitet. Effekt av transportreduserende tiltak er inkludert. -Økt el-forbruk som følge av økt transport med bane i "tiltakspakke 3" er ikke tatt hensyn til. Dette forbruket er trolig lite sammenliknet med tiltakspakken for øvrig.
Petroleum	+1,7 til +17,4	-Effekten av tiltakene i "tiltakspakke 1" beskrevet av sektorkapittelet sett bort fra energieffektivisering- og faklingstiltak og sett bort fra elektrifisering av nye installasjoner vi ikke kjenner til i dag.	-Effekten av tiltakene i "tiltakspakke 3" beskrevet av sektorkapittelet sett bort fra energieffektivisering- og faklingstiltak og sett bort fra elektrifisering av nye installasjoner vi ikke kjenner til i dag.
Industri	-0,9 til -0,7	-Effekten av effektivisering- og konverteringstiltak i "tiltakspakke 1" beskrevet i sektorkapittelet.	-Effekten av effektivisering- og konverteringstiltak i "tiltakspakke 3" beskrevet i sektorkapittelet. ⁴⁸ -Konvertering og effektiviseringstiltak i raffinerier er ikke inkludert.
Bygg	-5,6	-Effektiviserings- og konverteringstiltak i "tiltakspakke 1" / "tiltakspakke 3" beskrevet i sektorkapittelet. ⁴⁹	
Fjernvarme-produksjon	0 til +0,6	-Effekten av "tiltakspakke 1" beskrevet i sektorkapittelet.	-Effekten av "tiltakspakke 3" beskrevet i sektorkapittelet.
Sum	-1 til +28		
Både industrisektoren og byggsektoren har et betydelig effektiviseringspotensial utover det som framgår av tallene ovenfor. I byggsektoren anslås det at ytterligere teoretisk effektiviseringspotensial ligger mellom 2 og 13 TWh mot 2030. ⁵⁰			

For å illustrere tallene ovenfor vil en økning på 28 TWh tilsvare 22 prosent av dagens vannkraftproduksjon. Omfanget av elsertifikatordningen (se faktaboks i neste delkapittel) er til sammenlikning 26,4 TWh til sammen i Sverige og Norge.

Mot 2050 kan en økende andel nullutslippskjøretøy i transportsektoren gi økt etterspørsel etter elektrisitet, særlig hvis hydrogen får stort gjennomslag som drivstoff. I industrien vil ytterligere konvertering fra fossil energi til elektrisitet tilsi større etterspørsel. I petroleumssektoren forventes det en noe lavere energietterspørsel i 2050 sammenliknet med 2030.

⁴⁸ I tillegg vil foreslått CCS-tiltak i industrisektoren medføre en økt etterspørsel etter naturgass som ikke er kvantifisert.

⁴⁹ De to pakkene gir samme resultat for endret etterspørsel etter elektrisitet.

⁵⁰ Se sektorkapittel for bygg for nærmere omtale av dette

I neste delkapittel vil potensialer og mulig utvikling for kraftproduksjon bli omtalt.

Tabell 6-2 Anslag på konsekvenser for etterspørsel - bioenergi.

Bioenergi [TWh /år]			
Anslag på konsekvenser av tiltak i 2030			
Sektor	Anslag	Lavt anslag	Høyt anslag
Transport	+4 til +15	-Effekten av "tiltaksplanke 1" beskrevet i sektorkapittelet (+10 % innblanding av biodrivstoff til kjøretøy på veg, 10 % innblanding av biodrivstoff til skip). Effekt av transportreduserende tiltak er inkludert.	-Effekten av "tiltaksplanke 3" beskrevet i sektorkapittelet (+40 % innblanding av biodrivstoff til kjøretøy på veg, 40 % innblanding av biodrivstoff til skip, 20 % innblanding av biodrivstoff til fly, 20 % innblanding av biodrivstoff for andre mobile utslippskilder). Effekt av transportreduserende tiltak er inkludert.
Petroleum		Ingen tiltak vurdert.	Ingen tiltak vurdert.
Industri	+0,7 til +2,4	-Effekten av alle effektivisering- og konverteringstiltak i "tiltaksplanke 1 " beskrevet i sektorkapittelet.	-Effekten av effektivisering- og konverteringstiltak " tiltaksplanke 3" beskrevet i sektorkapittelet.
Bygg	+0,3 til +0,7	-Effekten av "tiltaksplanke 3" beskrevet i sektorkapittelet.	-Effekten av "tiltaksplanke 1" beskrevet i sektorkapittelet.
Fjernvarme-produksjon	+0,2	-Effekten av "tiltaksplanke 1" / "tiltaksplanke 3" beskrevet i sektorkapittelet ⁵¹ .	
Sum	+5 til +18		

For å illustrere tallene ovenfor vil en økning opp mot 18 TWh tilsvare en dobling av dagens bruk av bioenergi som er på rundt 18 TWh.

Mot 2050 kan etterspørselen etter bioenergi øke. Dersom det viser seg at avansert biodrivstoff blir dominerende i transportsektorene vil dette kreve betydelige biomasseressurser. Tilsvarende kan biomasse brukt som energi eller råstoff bli mer etterspurt i industrien, for eksempel i produksjon av biobaserte kjemikalier og bioplast.

I neste delkapittel vil potensialer og mulig utvikling for produksjon av bioenergi bli omtalt.

6.3 Produksjon av elkraft og bioenergi

Kapittelet beskriver mulig utvikling i Norge for produksjon av elkraft og bioenergi. Både etablerte og nye energiresurser blir omtalt. Potensial for økt produksjon blir diskutert. Annen fornybar varmeproduksjon er noe omtalt i byggkapittelet (4.7). Petroleumssektoren og fjernvarmesektoren er behandlet i kapitlene 4.3 og 4.6.

⁵¹ De to pakkene gir samme resultat for endret etterspørsel etter bioenergi. Eventuelle konsekvenser på bruk av biobrensler fra tiltak som endrer sammensetningen av avfallet som forbrennes i fjernvarmeanleggene er ikke kvantifisert.

6.3.1 Mulig utvikling på produksjonssiden i Norge

6.3.1.1 Prisforventninger til elektrisk energi

Prisutviklingen for elektrisk kraft vil ha vesentlig betydning for etterspørsel og produksjon, både på kort og på lang sikt. Usikkerheten er imidlertid stor. Forventningen for øyeblikket er en skandinavisk overskuddssituasjon på kort og mellomlang sikt ettersom det kommer inn mye ny fornybar produksjon støttet av elsertifikatene, uten at det foreløpig har kommet på plass nye utlandsforbindelser. Mot 2020 vil imidlertid igangsatte og planlagte prosjekter styrke utvekslingskapasiteten mot resten av Europa betydelig. Samtidig vil nedbørsituasjonen i vannkraftsystemet variere fra år til år, noe som kan trekke mot forbigående høyere priser. Det er også usikkerhet rundt tilgangen til kjernekraft i Norden. Mulig forsinket framdrift for finsk kjernekraftverk under bygging og teknisk usikkerhet for de svenske verkene kan bidra til høyere priser. På lang sikt kan politiske avgjørelser også endre situasjonen for kjernekraft i Norden (jamfør Tysklands vedtak om å fase ut kjernekraft innen 2022).

I et lavutslippsperspektiv er det verd å merke seg at mer effektiv bruk av energi blir viktig i Norge og ikke minst i landene rundt oss. Isolert sett vil redusert etterspørsel trekke mot lavere priser. Samtidig vil kraftpriser som av denne eller andre grunner er lave, begrense incentivet til energieffektivisering. Som beskrevet i kapittel 2 er en annen viktig trend en stadig økende andel variabel produksjon i Europa. Økende andel sol og vind med lave driftskostnader vil redusere antall timer der den termiske produksjonen (kull- og gasskraftverk) er prissetteren. Dette tilsier også at det blir færre timer der kvoteprisen er relevant.

Kraftpriser i Norge

Energiutredningen (NOU 2012: 9, 2012) sier følgende om hva som påvirker kraftprisene i Norge:

Balansen mellom tilbud og etterspørsel i Norge. Kraftbalansen er avgjørende for de langsiktige prisvariasjonene. Overskudd av kraft i Norge trekker i retning av lavere priser, mens underskudd gir høyere priser.

Tilgjengelighet av produksjonsanlegg. Dersom store mengder produksjonskapasitet er utilgjengelig, for eksempel på grunn av feil eller vedlikehold, får vi høyere priser. Tilgjengeligheten kan påvirke prisene både på kort sikt og på lengre sikt, flere måneder eller til og med utover ett år dersom den manglende tilgjengeligheten er langvarig.

Temperaturvariasjoner. Lave temperaturer gir høyere etterspørsel og høyere priser alt annet likt. Dette gjelder både på kort sikt og over lengre perioder. Prisivirkningene forsterkes av at lengre kuldeperioder med lav temperatur gjerne faller sammen med mindre vannkraftproduksjon.

Tilslutning til vannkraftsystemet. Høye tilslutninger gir rikelig med tilgang på vann og fører til høyere magasinbefylling. Det betyr også lavere alternativverdi av å lagre vann og trekker prisene nedover. Motsatt vil lave tilslutninger (tørrår) bety en høy alternativverdi av vannet og høyere priser. Tilslutning og magasinforhold er særlig viktig for prisene på noen måneders sikt, men kan også påvirke prisene over flere år i spesielle tilfeller.

Vind og nedbør. Mye vind og/eller nedbør gir mye uregulert produksjon på kort sikt, og reduserer prisene alt annet likt.

Flaskehalser i nettet. Begrensninger i overføringskapasiteten internt i Norge og mot andre land bidrar til lavere priser i områder med overskudd av kraft og høyere priser i områder med underskudd. Flaskehalser i nettet innebærer at vi ikke får full prisutjevning selv om vi handler kraft med andre land. Med dagens nivåer på overføringskapasiteten får vi bare unntaksvis like priser som på Kontinentet. Selv ikke med Statnetts planer for nye utenlandsforbindelser fram mot 2020-2025 vil vi få kontinentale priser i Norge. Flaskehalser er viktige for prisene både på kort og lang sikt.

Brenselsprisene i termiske kraftverk. Høyere priser på kull, gass og olje gir høyere kraftpriser i landene vi handler med. Det fører igjen til høyere priser i Norge fordi alternativverdien av vannkraften avhenger av brenselsprisene. Brenselsprisene er særlig viktige for prisvariasjoner på lengre sikt.

CO₂-kvoter. Kostnadene ved CO₂-kvoter påvirker kraftprisen på samme måte som brenselspriser. Innføringen av CO₂-kvoter i Europa har derfor også gitt økte kraftpriser i Norge.

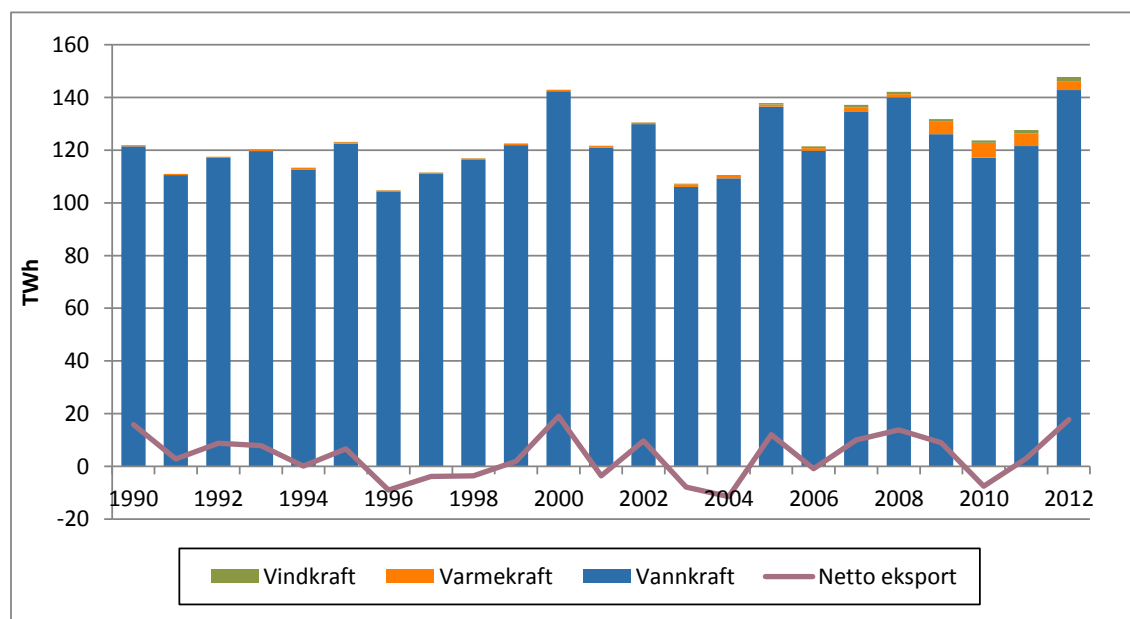
Tilbud og etterspørsel i andre land. Overskudd i landene vi handler med trekker de lokale prisene ned og kan gi noe lavere priser i Norge via import. En strammere balanse trekker i retning av høyere priser og eksport fra Norge.

6.3.1.2 Kraftsystemet

Mye tilsier at elektrifisering av store deler av dagens fossile energibruk vil være et viktig bidrag til et lavutslippssamfunn, og at den globale bruken og produksjonen av fornybar elektrisitet må øke. Mange analyser tilsier også at den gassbaserte elproduksjonen må øke i en overgangsperiode. Uansett må energieffektiviteten forbedres vesentlig. Norge skiller seg i dag kraftig fra andre deler av Europa og verden ved at vår kraftproduksjon er nær karbonfri.

Norge produserer i et normalår 130 TWh elektrisitet fra vannkraftanlegg med installert effekt på drøyt 30 000 MW, mindre mengder vindkraft og litt gasskraft kommer i tillegg (Figur 6-3). Midlere årsproduksjonen varierer mellom 100 og 150 TWh. Svingningene mellom år og sesong håndteres av vannmagasin med kapasitet tilsvarende 85 TWh og utvekslingskabler mot utlandet. Utvekslingskapasiteten er i dag på 1700 MW mellom Norge og Danmark og Nederland. Det planlegges flere nye prosjekter som vil øke utvekslingskapasiteten med Europa, basert på eksport av et forventet nordisk produksjonsoverskudd og mulig økning i etterspørselen etter balansetjenester i

Europa. En ny forbindelse til Danmark på 700 MW ferdigstilles i løpet av 2014. I tillegg er det planlagt to nye forbindelser à 1400 MW til Tyskland (forventet i drift fra 2018) og Storbritannia (forventet i drift fra 2020) (Statnett, 2013).



Figur 6-3 Årlig produksjon av elektrisk energi i Norge samt netto eksport 1990-2012 (SSB, 2014d).

Elsertifikatmarkedet er planlagt å utløse i størrelsesorden 26,4 TWh ny fornybar kraftproduksjon fram mot 2020 (se faktaboks). I perioden etter 2020 er det forventet et betydelig kraftoverskudd i Norge og Sverige, med tilhørende lave kraftpriser. Dette betyr at vi innenfor en positiv kraftbalanse kan benytte noe mer elektrisitet eksempelvis i petroleumssektoren uten å tilføre ny kapasitet. Det er verdt å merke seg at man her snakker om "normalår". Tre år på rad med lite nedbør vil kunne endre dette bildet.

Både et generelt økt forbruk av elektrisitet og økt andel uregulerbar produksjon i Norge (f.eks. vindkraft og småskala vannkraft) kan gi utfordringer for forsyningssikkerheten. Det skal imidlertid gjøres svært store investeringer på linjenettet de nærmeste årene. Motivasjonen er i hovedsak knyttet til å trygge forsyningssikkerheten og å gi rom for å fase inn ny fornybar produksjon i deler av landet som i dag ikke har tilstrekkelig nettkapasitet. Sammenhengen mellom nybygg/oppgradering av linjer og ny produksjon er i flere tilfeller svært tett. For eksempel for den planlagte 420 kV-linjen på Fosen, der nettinvestering og realisering av konsesjonsgitt vindkraft er gjensidige forutsetninger. Et effektivt linjenett er også et energieffektiviseringstiltak som vil redusere strømtap i overførings- og distribusjonsnettene.

Den norske el-produksjonen er basert på store kraftverk og omfattende samkjøring gjennom sentral- og regionalnettet. På lengre sikt kan distribuert produksjon og lagring av elkraft være med på å utfordre det etablerte kraftsystemet, både teknisk og økonomisk. I tillegg vil det også bringe med seg langt mer desentraliserte investeringsbeslutninger som kan sette organiseringen av kraftsystemet på prøve.

Fornybardirektivet

EUs fornybardirektiv (2009/28/EF) fra 2009 er knyttet til de såkalte 20-20-20-målene mot år 2020: 20 % reduserte klimagassutslipp (jfr. 1990); 20 % fornybar energi (opp fra 8,7 % i 2005); 20 % økt energieffektivitet. I tillegg skal andelen fornybar energi i transport utgjøre 10 % i 2020. Direktivet er innlemmet i EØS-avtalen og trådte i kraft i Norge i 2011.

Beregning av andelen fornybar energi

Fornybarbrøken beskriver andelen fornybar energi i den totale energibruken. Energibruk innenfor olje- og gassutvinning er holdt utenfor. Det korrigeres for årlige variasjoner i vind og nedbør. Målene varierer mye fra land til land. Norge er desidert på topp med 67,5 % (opp fra 58 % i 2005). Avstand fra målet i 2012: EU samlet 5,9 % -poeng; Norge 3,0 % -poeng; Sverige, Estland og Bulgaria har passert 2020-målsetningen.

Beregning av fornybarandelen:

$$\frac{\text{Fornybar strømproduksjon} + \text{fornybar energi (unntatt strøm)brukt til varme og kjøling} + \text{biodrivstoff}}{\text{Totalt sluttforbruk av energi} + \text{overføringstap av strøm og fjernvarme} + \text{forbruk av strøm og fjernvarme i kraftvarmesektor} + \text{fornybar energi fra varmepumper}}$$

Beregning av fornybarandel i transport:

$$\frac{\text{Fornybart strømforbruk i vegtransport} \times 2,5 + \text{annet fornybart strømforbruk i transport} + \text{biodrivstoff fra avfall} \times 2 + \text{annet bærekraftig biodrivstoff i transport (biodiesel, bioetanol, hydrogen, biogass)}}{\text{Totalt strømforbruk i transport} + \text{bensin} - \text{og diesel forbruk i transport} + \text{marine gassoljer i sjøfart} + \text{totalt biodrivstoff (både bærekraftig og ikke bærekraftig)}}$$

Det norsk-svenske elsertifikatmarkedet

Som et virkemiddel for å nå fornybardirektivets krav (i Norge 67,5 %), har Sverige og Norge inngått en avtale der kraftleverandører og visse strømkunder er forpliktet til kjøp av en gitt mengde sertifikater fra produsenter av ny fornybar kraft. Den totale forpliktelsen gjelder 26,4 TWh som kostnadmessig er delt med 13,2 TWh på hvert av landene. Bidraget til landenes fornybare strømproduksjon i fornybarbrøken (se faktaboks *Fornybardirektivet*) er også delt 50/50. Det er ingen bestemmelse om fysisk fordeling av produksjonen mellom landene.

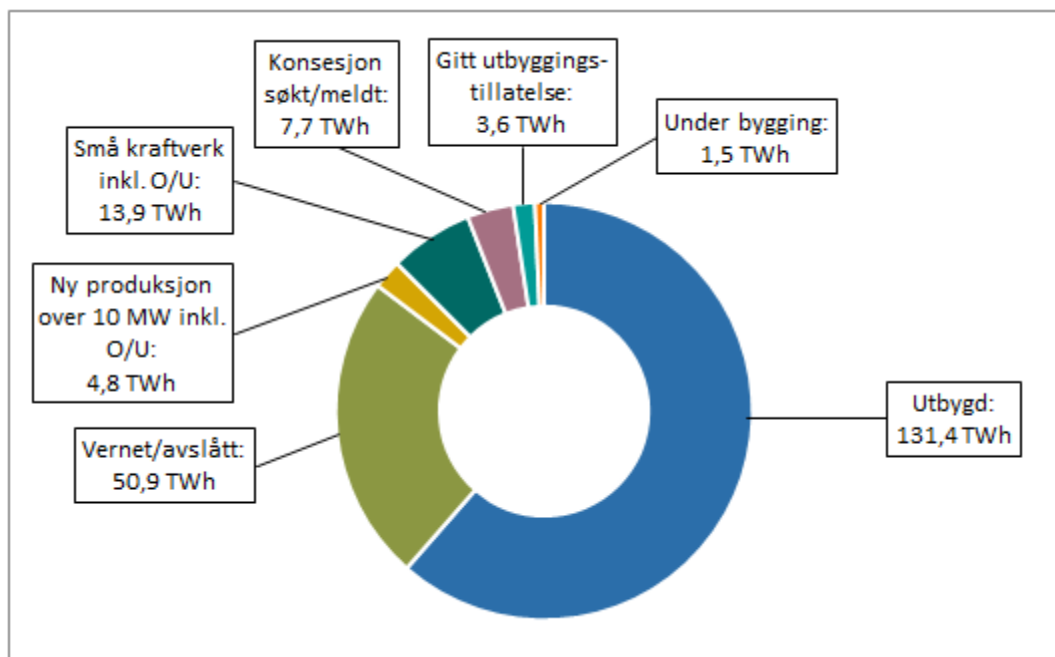
Sertifikatene, som prises i et åpent marked, løper i 15 år fra produksjonsstart for det enkelte anlegg. Den norske ordningen innebærer at anlegg må være i full drift innen 31.12.2020 for å utløse sertifikater, som deretter løper til 2035. Den svenske ordningen har en overgangsperiode med avkortning av sertifikatomfanget dersom anleggene ferdigstilles etter 2020. Strømkundene finansierer ordningen over strømrøgningen.

6.3.1.3 Vannkraft

NVE har beregnet et utbyggbart vannkraftpotensial i Norge (per 1.1.2014) til å være 31,5 TWh. Det vil si alle kategoriene i Figur 6-4 bortsett fra kategoriene "utbygd" og "vernet/avslått". Dette inkluderer en økt tilgang på 3,3 prosent gjennom mer nedbør, også kalt «klimavann», i beregningsperioden 1981-2010.

I starten av 2014 var det gitt utbyggingstillatelse tilsvarende 3,6 TWh og det var søkt eller meldt prosjekter med en produksjon på ytterligere 7,7 TWh. Nye vannkraftkonsesjoner, de fleste til

relativt små vannkraftverk, gis fortløpende. Hvor mange av de konsesjonsgitte kraftverkene som vil bli bygget i årene framover er usikkert.



Figur 6-4 Vannkraftpotensial⁵² pr. 1.1.2014 (NVE, 2014c).

Revisjon av vassdragskonsesjoner (vilkårsrevisjon)

Revisjonsinstituttet åpner for å kunne endre og modernisere vilkårene til konsesjoner etter vassdragsreguleringsloven og industrikonsesjonsloven. Revisjonsintervallet er 30 år, etter en endring fra 50 år i 1992. Det ble samtidig vedtatt en overgangsregel om at tidligere tidsubegrensede konsesjoner kan revideres 50 år etter konsesjonstidspunktet, eller i alle tilfeller 30 år etter lovendringen. Det er konsesjonsvilkårene som kan endres, ikke selve konsesjonen.

Dette innebærer at ca. 430 vannkraftkonsesjoner kan tas opp til revisjon innen 2022. Utgangspunktet vil være å bedre miljøforholdene i berørte vassdrag. Krav om minstevannføring og magasinrestriksjoner er vanlige endringer. Samlet vil slike tiltak kunne gi vesentlige miljøforbedringer, men samtidig en reduksjon av produsert energi. Bortfallet er anslått til mellom 1,1 og 1,7 TWh i vassdragene med høyest prioritet i de nasjonale føringene gitt av OED og KLD i januar 2014.

6.3.1.4 Vindkraft

I henhold til NVEs konsesjonsdatabase er det i september 2014 gitt konsesjon til vindkraft på land tilsvarende omlag 19 TWh. Av dette er omlag 5 TWh under klagebehandling. NVE har p.t. under behandling ca. 30 konsesjonssøknader med anslått produksjon på 10 TWh. I tillegg kommer 25 meldte prosjekter. Vindkraftproduksjonen i 2013 var 1,9 TWh (NVE, 2014d); forventet produksjon i 2014 er 2,3 TWh (vindportalen.no, 2014). Hva som skjer med vindkraftprosjekter som ikke er realisert innen sertifikatfristen 31.12.2020 er uavklart både når det gjelder videreføring av tildelte konsesjoner (som forutsetter produksjonsstart i løpet av 2020) og interesse fra utbyggerne.

⁵² Midlere årsproduksjon 213,8 TWh, referert tilsigsperioden 1981-2010. Restpotensial er basert på digital kartlegging for små kraftverk med investeringsgrense inntil 3 kr/kWh og Samlet plan for vassdrag. Referert dagens kostnadsnivå tilsvarende det en investeringsgrense på 4-5 kr/kWh. Inkluderer ikke potensial for små kraftverk i verneplan for vassdrag. Konsesjon søkt/meldt omfatter ikke saker som ligger i kø.

Det er ikke ressursgrunnlaget som i første rekke setter grensene for vindkraftutbygging i Norge, men utbyggingsøkonomien. Dette gjelder særlig for det svært store potensialet havbasert vindkraft (NVE, 2012), der en ikke er i nærheten av kommersiell utbyggingsøkonomi innenfor sertifikatordningen. Det vil derfor kreves nye omfattende støtteordninger for å realisere slik utbygging. For flytende vindturbiner (som er det mest aktuelle på store deler av norsk sokkel) finnes det tilgjengelig teknologi, men kommersiell utnyttelse ligger et stykke fram i tid.

Vindkraftverk som bygges i dag har en teknisk levetid på 20-25 år. Investeringer i infrastruktur som veier og kraftlinjer kan delvis gjenbrukes. Turbiner og turbinfundamenter, som utgjør ca. 70 prosent av investeringskostnadene i et vindkraftverk, kan sannsynligvis ikke gjenbrukes.

6.3.1.5 Gasskraft

Det er tre større gasskraftverk i Norge; på Kårstø, Mongstad og Melkøya, i tillegg til reservekraftverkene på Nyhamna og Tjeldbergodden. Kraftverket på Melkøya er knyttet til Hammerfest LNG/Snøhvitfeltet og regnes som en del av petroleumssektoren (se kapittel 4.3). Gasskraftverket på Kårstø som ble ferdigstilt i 2007 har en installert effekt på 420 MW og en maksimal årlig produksjon på 3,5 TWh. Det er ikke sannsynlig at anlegget vil ha drift av betydning de neste 4-5 årene ifølge styret i Naturkraft som drifter anlegget (TU, 03.10.14).

Kraftvarmeverket på Mongstad startet produksjonen i desember 2010. Ved maksimal utnyttelse har det kapasitet til å levere 280 MW elektrisitet og 350 MW varme. I tillegg til å levere energi til raffineriene leverer kraftverket elektrisitet til nettet. I full drift kan kraftverket levere 2,3 TWh elektrisk kraft. Verken Kårstø eller Mongstad har hatt mye tid i full drift.

Ingen av gasskraftverkene er i dag utstyrt for karbonfangst og -lagring. Det er usikkert om og i tilfelle når kraftverkene kan bli utstyrt med CCS. Fullskala rensing på Mongstad er utsatt på ubestemt tid og driften på Naturkraft Kårstø er foreløpig innstilt. Det blir, eller har blitt, arbeidet med flere andre større gasskraftprosjekt både med og uten CCS, de fleste knyttet til en industriell utnyttelse av varmen. I øyeblikket virker det lite sannsynlig med bygging av nye gasskraftverk i Norge.

6.3.1.6 Solkraft

Globalt har utnyttelse av solenergi vært i kraftig vekst de siste årene. Elektrisitet fra solceller har gått fra å dekke et nisjebehov til å bli en betydelig faktor i energimarkedene i flere land (se kapittel 2 og vedlegg 5). IEA anser solenergi som en av de viktigste kildene i verdens elektrisitetsforsyning i sine lavutslippsscenario mot 2050 (IEA, 2014a).

Markedet for solceller i Norge vokser, men er fremdeles lite. Historisk har solceller (PV - photovoltaics) blitt brukt for å dekke el-behovet i områder med vanskelig/kostbar tilgang til el-nettet. Fritidsmarkedet har vært det dominerende markedet for PV i Norge. PV kombinert med batteribanker er også i utstrakt bruk for fyrlys og lanterner langs norskekysten, helt opp til 70° nord. Det ble i 2012 installert omtrent 470 KW solceller, det aller meste uten nettilknytning, og total installert kapasitet i Norge i 2012 var omtrent 10 MW (Forskningsrådet, 2013). Energibidraget fra PV i Norge i dag er svært lite sammenliknet med annen elektrisitetsproduksjon.

Markedet for både BIPV (building integrated PV) og BAPV (building applied PV) er imidlertid i vekst, selv om solkraft under dagens betingelser normalt ikke er konkurransedyktig med strøm fra nettet. Kjøpere av PV-anlegg i Norge er gjerne motivert av miljøambisjoner og høye krav til energieffektivitet i sine bygg. For BIPV hvor solcelleanlegget erstatter andre fasadematerialer, er imidlertid kostnaden (kr/m²) på nivå med andre byggematerialer som glass, naturstein og kobber

(Energi21, 2013). Klimameldingen (Meld. St. 21, 2011-2012) og Byggmeldingen (Meld. St. 28, 2011-2012) legger opp til at nye bygg skal ha passivhusnivå fra 2015 og nesten-null-nivå fra 2020. Lokal produksjon av elektrisitet fra solceller kan bli viktig for oppnå kommende krav til energieffektive bygg.

Multiconsult har på oppdrag fra Enova (Multiconsult, 2013) utredet kostnader for elektrisitet fra solceller i Norge for tre typiske system (enebolig, næringsbygg, kraftverk). Det ble gjennomført systemsimuleringer med lokale klimadata for fem ulike steder i Norge. Gjennomsnittlig beregnet energipris (LCOE)⁵³ for enebolig ble 2,6 kr/kWh, for næringsbygg 2,2 kr/kWh og for bakkemontert kraftverk 1,5 kr/kWh. Utredningen påpeker at både modulprisene og andre prosjektkostnader er høye i Norge sammenliknet med andre land som følge av lite markedsvolum og at alle prosjekter er skreddersøm. Ved selv moderat vekst i markedet forventes det at systemkostnader og dermed LCOE reduseres.

6.3.1.7 Annen fornybar kraftproduksjon

Globalt arbeides det mye med å utrede alternative måter for å produsere elektrisk energi. Teknologier for å utnytte bølger, tidevann og havstrømmer, solenergi, saltkraft og geotermisk energi er eksempler på områder der det skjer forskning og utvikling både i Norge og andre land. Med utgangspunkt i forventninger om overskudd av elektrisitet og lave energipriser i de kommende årene, og manglende kommersielt tilgjengelige løsninger for en del av de alternative teknologiene, er det lite som tyder på at disse får betydning fram mot 2030.

På lengre sikt forventes det store endringer i dette bildet, med tilhørende massive utviklingsbehov innenfor både kjente og nyere ressurser og teknologier.

6.3.1.8 Bioenergi

Biomasse kan benyttes til energiformål på mange måter. Biomasse kan forbrennes for å produsere varme og elektrisitet. Biomasse kan også gjennom biologiske eller kjemiske prosesser omformes til energibærere som biogass og biodrivstoff som kan erstatte fossile energibærere direkte. Mulige kilder til biomasse er skog- og skogsindustri, jordbruk, havbruk og næringsmiddelindustri, avfallsbehandling og renseanlegg. I *Strategi for økt utbygging av bioenergi* (OED, 2008) legges det opp til økt utbygging av bioenergi med 14 TWh innen 2020. Dette tilsvarer en bruk av bioenergi tilsvarende 28 TWh bioenergi i 2020, omtrent 10 TWh økning fra dagens bruk på om lag 18 TWh (2012).

Råstoff fra skogen er i dag den viktigste kilden til bioenergi i Norge og benyttes i hovedsak til varmeproduksjon. Ved til husholdningene utgjør fortsatt den største andelen av bioenergi, ca. 7,5 TWh i et år med normaltemperatur. I industrien benyttes om lag 4,5 TWh bioenergi, og i forbrenningsanlegg benyttes om lag 2 TWh (NVE, 2014a). Produksjon av biogass utgjorde i 2010 omtrent 0,5 TWh, hovedsakelig basert på oppsamlet deponigass, avløpsslam og i noen grad på matavfall (Klif, 2013a). Videre utgjør pellets, briketter og flis nærmere 2 TWh årlig, biofyringsolje 0,4 TWh og biodrivstoff 1,5 TWh (NVE, 2014a). Omtrent alt biodrivstoffet som blir benyttet i Norge i dag blir importert. Tyskland, Litauen, USA og Frankrike var de største eksportørene av biodrivstoff til Norge i 2013. Se kapittel 4.4 for nærmere omtale av biodrivstoff.

⁵³ LCOE - levelized cost of electricity

Rambøll har i samarbeid med Norges miljø- og biovitenskapelige universitet gjort vurderinger av ressurspotensialet for bioenergi i Norge fram mot 2020 på oppdrag fra NVE (NVE, 2014a). De anslår et teoretisk potensial for økt bioenergiproduksjon på 30-32 TWh.

Det største potensialet for å produsere mer bioenergi i Norge i den nærmeste framtid ligger i skogen. I framskrivingene fra Norsk institutt for skog og landskap (se kapittel 4.10) er det lagt til grunn at avvirkingen i de norske skogene vil øke til 12 millioner kubikkmeter i 2020 og 14 millioner kubikkmeter i 2050. Denne økte avvirkingen vil generere mer biomasse som *kan* benyttes til energiformål. Det innebærer at vi framover vil ha mer biomasse i form av restprodukter fra industrien og fraksjoner av treet (i hovedsak greiner og topper - GROT) som i dag ikke blir utnyttet. I tillegg kan massevirke benyttes til energiformål. Totalt anslås den teoretiske energimengden i dette å utgjøre 35-41 TWh årlig i perioden 2020-2050 (jamfør kapittel 4.10). Det er 21-27 TWh mer enn det som brukes i dag. Det understrekes at potensialene som presenteres er usikre, og at det realistiske potensialet vil avhenge av hvilke økonomiske forutsetninger som legges til grunn. NVE (2014) anslår at potensialet for økt uttak av biomasse til energiformål i 2020 innenfor en flispris levert på anlegg på 30 øre per kWh vil være 8,4 TWh, basert på et avvirkningsnivå på 12 millioner kubikkmeter⁵⁴.

Det kan være muligheter for å øke produksjonen ytterligere gjennom økt avvirkning utover referanseframskrivingene. Samtidig vil økt uttak påvirke andre miljø- og naturverdier. I tillegg vil de fleste tiltak som tar sikte på å øke skogproduksjonen gi økt råstofftilgang, men ikke før på slutten av skogomløpet (se kapittel 4.10).

Biogass er det i dag en begrenset produksjon av i Norge. Deponigass utgjorde i 2010 den største andelen av biogassproduksjonen, men denne ventes å falle i de kommende årene som følge av forbud mot deponering av nedbrytbart avfall. Våtorganisk avfall og husdyrgjødsel dominerer det realistiske potensialet for økt utnyttelse på kort sikt (Klif, 2013a). I 2010 ble rundt 20 prosent av det realistiske potensialet for biogassproduksjon utnyttet, og det var planer for å utnytte ytterligere 15 prosent. Innen 2020 er det vurdert som mulig å realisere en årlig produksjon på 2,3 TWh biogass av et teoretisk potensial på 5,8 TWh (Klif, 2013a). På lengre sikt kan produksjonen av biogass økes betydelig, ikke minst fordi det er mulig å øke tilgangen på egnet råstoff vesentlig. Miljødirektoratet legger til grunn at det går an å øke tilgangen av eksempelvis våtorganisk avfall i tiårene framover. I tillegg kan nye råstoffgrupper, som skogråstoff, alger eller slam fra fiskeoppdrettsanlegg, tas i bruk til biogassproduksjon. Til slutt kan det være et potensial for å øke biogassutbytte gjennom forbehandling og mer optimaliserte prosesser. Hvor mye av biogasspotensialet som faktisk kommer til å bli utløst på lang sikt er vanskelig å forutsi.

I fjernvarmesektoren utgjorde bioenergi 51 prosent av brenselet i 2012 når bioandelen i blandet avfall inkluderes (NVE, 2014a). Dette tilsvarer om lag 3,5 TWh bruttoproduksjon av varme (SSB, 2014c). I tillegg ble en betydelig mengde avfall eksportert, både utsortert biomasse og blandet avfall som inneholdt biomasse. Den eksporterte biomassen gikk i hovedsak til forbrenning i utlandet. Hvordan den langsiktige utviklingen av energiproduksjon fra avfallsbasert biomasse kommer til å bli, avhenger av blant annet utvikling av avfallsmengder, sammensetningen av avfallet og hvordan fordelingen mellom ulike avfallsbehandlingsalternativer blir (se kapittel 4.5). Etter 2020 forventes en liten reduksjon i mengden biomasse fra norsk avfall til forbrenning. På lang sikt (2050) ventes det

⁵⁴ Ressurspotensialet ligger i hovedsak i bruk av GROT og stubber og røtter. Rundvirke utgjør 0,3 TWh, og viser til en reallokering av massevirke som i dag går til treforedlingsindustrien. I tillegg er ressurser fra landskapspleie og rydding inkludert.

betydelig mer utsortering av ulike avfallstyper som våtorganisk avfall, papir, papp og kartong, treavfall og tekstiler. Disse kan benyttes til materialgjenvinning, biologisk behandling eller andre behandlingsformer (eks. pyrolyse med produksjon av biokull) istedenfor fjernvarmeproduksjon. Dette vil kunne medføre at energileveransen basert på forbrenning av biomasse i avfall reduseres i et langsiktig perspektiv.

Bioenergi fra alger

Det er fra flere hold framholdt at Norge har spesielle forutsetninger både med hensyn til tilgang på naturressurser og kompetanse til å utvikle ressurser fra havet også til energiformål. Forskningen på hvordan alger kan brukes til å produsere biodrivstoff tok fart under olje-embargoen på 1970-tallet. Alger kan grovt sett deles inn i mikroalger (frittlevende, mikroskopiske organismer) og makroalger (flercellede, fastlevende organismer), og forskningen har hovedsakelig fokusert på potensialet i mikroalger til biodrivstoff på grunn av deres høye lipid-innhold. Det er likevel verdt å merke seg at makroalger også har potensialet til å utnyttes til biodrivstoff. Norge har et av Europas største arealer av tareskog, som binder rundt 30 millioner tonn CO₂, og med en årlig beregnet lagring av CO₂ på mellom 0,9 og 2,3 millioner tonn CO₂ (NIVA, 2011). Alger bruker i likhet med planter på land solenergi, vann og CO₂ til å produsere biomasse, men effektiviteten er rundt 30 ganger høyere enn landplanter når man ser på mengden masse produsert per arealenhet (Ribeiro & da Silva, 2013). Hovedfordelene ved å bruke alger til biodrivstoff er at man unngår arealkonflikter med matproduksjon, man unngår bruk av sprøytemidler og man kan produsere ulike nyttige biprodukter (som mat/dyrefor, råvarer til produkter, farmasøytiske produkter).

Alger representerer en såkalt 3. generasjons⁵⁵ biomasse til biodrivstoffproduksjon, og IEA har beregnet at 2. og 3. generasjons biodrivstoff vil utgjøre rundt 75 prosent av råvaregrunnlaget for biodrivstoff i 2050 (Hammond & Seth, 2013). For eksempel kan bioetanol og biometan (fra anaerob nedbrytning av karbohydratrik biomasse) og biodiesel (fra lipid-innholdet) framstilles fra alger. I tillegg har noen mikroalger evnen til å produsere hydrogengass direkte når de vokser under svovelbegrensning, og i Norge forskes det på dette ved Bioforsk (Sjånes, Rebours, & Lindblad).

Potensialet i biodrivstoff fra alger har ofte blitt fremhevet, og det er for eksempel blitt beregnet at all petroleum brukt i USA kunne vært erstattet ved å dyrke alger på kun 4 prosent av landarealet (Georgianna & Mayfield, 2012). Slike estimer tar ofte utgangspunkt i optimale vekstforhold i laboratorieeksperimenter og en ny studie viser at lipidavkastningen fra algeproduksjon kan være betydelig lavere enn tidligere estimer (Moody, McGinty, & Quinn, 2014). Så langt har det vært utfordringer med å gjøre biodrivstoff fra alger økonomisk lønnsomt, og det er spesielt høye produksjonskostnader og høyt nitrogeninnhold som har hindret utviklingen.

Det er behov for videre forskning og utvikling av kostnadseffektive teknologier for å konvertere algebiomassen til biodrivstoff, samt for å kultivere mikro- og makroalger på et kommersielt nivå. Det finnes forskningsmiljøer blant annet ved Bioforsk, Universitetet i Bergen, Universitetet i Stavanger, NTNU og Sintef som arbeider med utnyttelse av alger til drivstoff eller produkter. Ifølge en rapport fra Sintef (2014) om alger og bioøkonomi er det per 2014 fire selskaper som har lisens til å kultivere makroalger i Norge, blant annet til biodrivstoffproduksjon og annen kommersiell bruk. Vi har per i dag lite grunnlag for å vurdere konkret potensial, men i et lengre tidsperspektiv kan alger bli en viktig ressurs for Norge. Utvikling i teknologi og påfølgende kostnadsreduksjoner anses som sentralt for at alger skal bli en konkurransedyktig ressurs.

⁵⁵ 1. generasjons biodrivstoff brukes gjerne om drivstoff laget av råstoff som kunne ha blitt brukt til mat, 2. generasjons biodrivstoff når råstoffet ikke er mat. 3. generasjon brukes gjerne om biodrivstoff der alger er råstoff.

6.3.2 Norsk elkrafts rolle i lavutslipps-Europa

Selv om denne studien primært fokuserer på de norske klimagassutslippene, er det åpenbart at energiutvekslingen i det skandinaviske og europeiske kraftsystemet har relevans. Dette skyldes blant annet at både energipriser og tilgang på energi bestemmes i et samspill utover Norges grenser. Årlige svingninger i nedbøren gir også en direkte motivasjon for betydelig utveksling mot andre land knyttet til tørrårssikring og ren overskuddseksport.

Blant særlige kjennetegn ved det norske kraftsystemet er den svært høye fornybarandelen. Dette innebærer at kraftproduksjon verken er en betydelig utslippssektor eller basert på kjernekraft. Bare Island er i en sammenlignbar situasjon. Av dette følger også at Norge er en tung europeisk aktør med 5-10 prosent av den samlede europeiske fornybarproduksjonen og ca. 50 prosent av Europas vannmagasiner. Norges andel av Europas fornybare energiproduksjon vil riktignok falle ettersom det europeiske energisystemet blir mer fornybart.

Uansett markedsandeler og mulige gjennombrudd for andre teknologier er det grunn til å tro at den regulerbare vannkraften vil være både billig og forutsigbar sammenlignet med framtidig ny europeisk fornybarproduksjon og energilagring. Også etter 2050 er det sannsynlig at vi vil sitte på noen av de mest verdifulle fornybare energiressursene i Europa utfra utbyggingskostnad og fleksibilitet (NVE, 2011).

Andre norske fornybare energikilder enn regulerbar vannkraft har ikke sammenlignbare komparative fortrinn, selv om enkelte ressurser er store; landbasert vindkraft med relativt gode vindressurser, biomasse med tilgang til store areal etc. For noen mindre modne produksjonsformer kan norske ressurser, alle knyttet til havet, vise seg å bli interessante også i et internasjonalt perspektiv: ikke-bunnfast havvind, bølgeenergi o.a.

Hvilke endringer i etterspørsel etter elektrisk kraft og balansetjenester i Europa som kan komme, og hvordan dette vil påvirke det norske kraftsystemet, ligger utenfor omfanget av denne rapporten å vurdere. Betydningen *kan* imidlertid bli stor for etterspørselen etter både elektrisk energi og effekt basert på norske ressurser.

6.4 Konsekvenser for naturmangfold av mer fornybar kraft og bioenergi i Norge

IPCC og andre (IEA og EU bl.a.) som har sett på mulighetene for etablering av store mengder utslippsfri energi, legger stor vekt på barrierer mot slik utbygging utover det teknisk-økonomiske. Sammen med ulike samfunnsmessige konsekvenser er det belastningen på naturmiljøet som vekker størst interesse (Andersen, 2013).

6.4.1.1 Storskala vannkraft - i hovedsak regulerbar

Med «storskala vannkraft» menes her utbygginger med installert effekt større enn 10 MW, i hovedsak med integrert regulering i form av vannmagasin som styrer vannføringen til kraftstasjonene. En del reguleringer samler vann fra mange vassdrag gjennom et komplekst system med overføring i store tunnelsystem, i noen tilfeller støttet av pumping. De største kraftverkene har effekt på over 1000 MW. Noen magasin er dimensjonert for lagring av flere sesongers nedbør, og dermed særlig viktige for leverings sikkerheten. 40 prosent av produksjonen skjer i kraftverk over 200 MW, 6 prosent i anlegg under 10 MW.

Redusert vannføring reduserer opplevelsesverdien av berørte fosser og elvestryk, og gir betydelige negative konsekvenser for naturmangfoldet. Reguleringsmagasinene fører til neddemming av areal og synlige erosjonssoner i landskapet i de lange periodene der de ikke er fulle. Magasiner av vann vil også påvirke miljøforholdene nedstrøms kraftverkene gjennom endrede miljøforhold som følge av endret vannføring og vanntemperatur. For de store magasinene vil vannføringen oftest bli større enn før på vinteren, men mindre i andre deler av året. Raske vannføringssendringer som følge av start og stopp av kraftverk (eks. effektkjøring) kan påvirke både bruk av vassdragene og dyre- og planteliv negativt. Vannkraftutbygging har i flere tilfeller ført til uønsket spredning av arter til nye vassdrag eller vassdragsavsnitt. Et eksempel på en art som har gitt negative miljøkonsekvenser er ørekyte.

Utbygging av vannkraft innebærer nødvendigvis at det tas vann fra fosser og elvestrekninger, med tilhørende endringer av vassdragsmiljøene. I de største reguleringsmagasinene omfatter dette omlegging av vannføringen i store nedslagsfelt. Dette vil i mange tilfeller påvirke vannlevende og vanntilknyttede arter og naturtyper, både direkte og gjennom langtidseffekter, f.eks. knyttet til redusert sedimenttransport og fravær av naturlige flommer. Konsekvensene for de anadrome fiskebestandene har vært omfattet med særlig interesse. Elvemusling, ål, edelkreps og elvesandjeger er andre truede arter på norsk rødliste der vassdragsregulering i betydelig grad har medvirket til artenes tilbakegang i Norge. Særlig relevante naturtyper er elveører, flommarkskog, åpne fosseenger og fossesprøytvegetasjon, fuktige bekkekløfter og deltaer. En må også ta med verdiene knyttet til landskap og friluftsliv.

Det er i mange tilfeller et betydelig potensial for å gjennomføre avbøtende tiltak i store vasskraftutbygginger uten store tap av kraftproduksjon. Krav til minstevannføring, i kombinasjon med andre tiltak, vil ofte være nødvendig for å tilfredsstille miljømålet «godt økologisk potensial» (eller «god økologisk tilstand») i henhold til vannforskriften. Foruten vannforskriftens krav ligger det vesentlige utbyggingsbegrensninger i ulike verneinstitutter, både alminnelig vern knyttet til større verneområder og vassdragsvern knyttet til flere verneplaner for vassdrag.

Noen relativt få store elvekraftverk, såkalte «run-of-the-river»-kraftverk, inngår også i «storskala»-kategorien. Miljøkonsekvensene av elvekraftverkene minner om de store kraftverkene i regulerte vassdrag.

6.4.1.2 Småkraft (uregulerbar vannkraft)

Småkraft er vannkraftanlegg med installert effekt under 10 MW, og med fravær av reguleringsmagasin som gjennomgående kjennetegn. Det er samtidig verdt å merke seg at ganske mange småkraftverk er integrert i reguleringsystemet ved at de utnytter vann fra regulerte vassdrag.

Småkraftkategorien rommer ellers et stort spekter av anlegg (fallhøyde, vannmengde, produksjonsfordeling over året, terreng o.a.) med tilhørende stor variasjon i miljøkonsekvensene. Dette henger også sammen med omfanget av infrastruktur (rørgater, kraftlinjer, veier etc.) som varierer mye mellom ulike anlegg. Gjennomgående er det, sett i forhold til levert energimengde, større infrastrukturinngrep ved små enn store anlegg. Det poengteres for øvrig at det finnes små utbygginger som gir minimale miljøulempere.

Selv om forskjellene mellom anleggene er store er det åpenbart at småkraftpotensialet ligger innenfor et begrenset utvalg av landskap, med tilhørende stor belastning på enkelte naturtyper. Det har vært et spesielt fokus på naturtyper knyttet til bekkekløfter og fossesprøytvegetasjon. De samlede virkninger både på regionalt og nasjonalt nivå som kan vanskelig fanges opp gjennom

utredning og behandling av konsesjonssøknadene. Dette forsterkes av at den faglige metodikken rundt samlede virkninger er umoden. Sammenlignet med regulerbar vannkraft er for øvrig kunnskapsgrunnlaget om miljøverdiene oftest mer begrenset og risikoen for utilsiktet konflikt med sårbare arter og naturtyper tilsvarende større.

6.4.1.3 Balansetjenester m/pumpekraft

Balansetjenester fra det norske vannkraftsystemet er i hovedsak effektleveranser knyttet til et teknisk potensial for store variasjoner i produksjonen. Forutsetningen er magasinert vann og større installert effekt i tilhørende vannkraftverk enn det som kreves for jevn produksjon. *Pumpekraft* er en supplerende mulighet der kraftverket også brukes til å pumpe vann til høyereliggende magasin i perioder med overskudd på kraft.

Satsing på balanseleveranser med tilhørende effektkjøring vil kreve raskere vannstandsendinger enn vi normalt har sett i norske regulerte vassdrag (>15 cm/t i magasin/nedstrøms elv). En annen mulighet for å øke balansekapasiteten er innføring av større fleksibilitet i høyeste og laveste regulerte vannstand (HRV/LRV), evt. økt damhøyde og ha mer fleksible krav til oppfyllingstidspunkt. Ved særlig store ambisjoner følger muligheten for etablering av helt nye magasin. Her må det påpekes at det er mulig å utvikle betydelig balansekapasitet knyttet til eksisterende magasin, uten å øke verken damhøyde eller reguleringsgrenser (Solvang, Harby, & Killingtveit, 2012).

Utover påvirkningene beskrevet for regulerbar vannkraft vil de største miljøkonsekvensene knyttet til effektleveranser oppstå når utløpet fra kraftverket skjer til elv eller mindre innsjøer. Bunndyr-faunaen blir ofte negativt påvirket av effektkjøring og det kan ta flere måneder med stabil vannføring før artssammensetningen er delvis gjenopprettet. Pumpekraft gir en særlig risiko for oppstrøms spredning av fremmede organismer. Erfaring fra tidligere utbygginger gir ellers grunn til å forvente store miljøkonsekvenser og meget høyt konfliktnivå ved etablering av helt nye magasin.

6.4.1.4 Vindkraft på land

Arealbeslagene av vindkraft er knyttet til det faktiske inngrepet på bakken og til det visuelle influensområdet (nedenfor betegnet som «buffer»). I tillegg opereres det med «planområder» som er det arealet som omfattes av en søknad og en eventuell påfølgende konsesjon. Med bakgrunn i dagens vindkraftanlegg har vi beregnet (Miljødirektoratet, 2014a) at 1 MW installert effekt krever et planområde på ca. 100 dekar. For å produsere 1 TWh landbasert vindkraft kreves det ca. 105-125 stk. 3 MW vindturbiner (gitt henholdsvis 3200 og 2700 brukstimer⁵⁶). Dette gir arealbeslag på land for 1 TWh som følger:

- Direkte nedbygd areal 1-2 km²
- Planområde 32-40 km²
- Buffer⁵⁷ 10 km 450-500 km²
- Buffer 20 km 950-1100 km²

Konstruksjonen tilsier at vindkraftanlegg vil være synlige over store områder og dominere landskapsopplevelsen innenfor en betydelig radius. I oppsettet over er dette illustrert med buffere på 10 og 20 km. De refererte bufferne anses som relevante størrelser for vurdering av konsekvenser for friluftslivet og annen aktivitet gjennom blant annet redusert opplevelsesverdi. Synligheten av anleggene går for øvrig langt utover de nevnte bufferne.

⁵⁶ Tilsvarende fullasttimer: 2700 timer=dagens effektivitet; 3200 timer=forventet effektivitet

⁵⁷ Bufferne er beregnet som arealer fratrukket områder som er skjermet for innsyn utfra topografien eller arealer der det er bufferoverlapp mellom flere vindkraftanlegg

Vindkraft kan også komme i konflikt med trua eller sårbare naturtyper, særlig fugl. Også flaggermus blir negativt påvirket av vindkraft, selv om forholdet er lite undersøkt i Norge. Pattedyr som er vare for forstyrrelser, som villrein, kan bli påvirket av vindkraft. Konfliktene med dyrelivet kommer gjennom direkte nedbygging av leveområder, barriereeffekter, økt dødelighet gjennom kollisjoner eller at vindkraftverkene oppleves som hinder. Økt menneskelig aktivitet i forbindelse med vindkraftanleggene kan også være forstyrrende for arter som er vare for menneskelig aktivitet. Vi kjenner lite til hvordan vindkraftutbyggingen påvirker de store sesongtrekkene av fugl som foregår både langs kysten og over land i Norge.

Den norske utbyggingsmodellen er kjennetegnet av relativt store anlegg plassert over skoggrensen i god avstand fra bebyggelse og eksisterende infrastruktur. Utover en god utnyttelse av de norske vindressursene, innebærer modellen begrenset konfliktpotensial når det gjelder støy, skyggekast og nærfriluftsliv, men desto større konflikter knyttet til uberørt natur. Videre medfører det mer omfattende nybygging av drifts- og atkomstveier. Alternativet til den valgte modellen kan være utbygging nær hovedveier/jernbane eller på dyrket mark, slik vi ser det i mange andre land. Dette ville gi et annerledes konsekvensbilde, som det bør være interessant å vurdere nærmere.

Potensialet for avbøtende tiltak når det gjelder vindkraft er gjennomgående mindre enn for regulert vannkraft, selv om kvaliteten på detaljplaner og anleggsgjennomføring har stor betydning også her.

6.4.1.5 Havvind

Arealpåvirkningen av havbasert vindkraft (NVE, 2012) er vesentlig annerledes enn for landbaserte anlegg. Den visuelle påvirkningen er sterkt avhengig av avstanden til land. Havbasert vindkraft kan også påvirke naturmiljøet, særlig sjøfugl, fisk og bunnsamfunn. Påvirkningen vil være noe avhengig av hvilke byggemetoder man velger. Sjøfugl påvirkes gjennom habitatforringelse, fragmentering av leveområder og kollisjoner. Det er usikkert hvordan en storstilt utbygging av havbasert vindkraft i Europa og Norge kan påvirke de store sesongtrekkene av fugl.

Påvirkningen av fisk, sjøpattedyr og bunnsamfunn vil være avhengig av hvilken teknologi man benytter i utbyggingen, men støy og habitatforringelse er to viktige påvirkningsfaktorer.

6.4.1.6 Solkraft

Miljøkonsekvensene av solenergi lar seg vanskelig dimensjonere ettersom det finnes få store referanseanlegg på våre breddegrader. Solfangere og solcellepanel på bygg gir energiproduksjon som ikke krever nytt areal. Dette er omtalt i kapittel 4.7. Slike anlegg gir naturlig nok få miljøkonsekvenser i forhold til naturmiljø. Som en pekepinn på den mulige belastningen på naturmiljøet kan vi vurdere behovet for å supplere solcelleanlegg på bygg med bakkemonterte anlegg innenfor et aktuelt produksjonsomfang. Som utgangspunkt tar vi elproduksjon⁵⁸ (PV) basert på den norske solinnstrålingen (700-1100 kWh/m²) (Rindal & Salvesen, 2008) og en 10 prosent utnyttelse av denne (fornybar.no, 2014). Arealbeslaget blir med dette på 9-14 km² for 1 TWh, eller 1200-1900 km² for dagens norske elproduksjon⁵⁹. Utfra dette er det klart at elproduksjon fra bakkemonterte PV-anlegg i Norge vil kreve betydelig areal dersom denne kilden skal bli viktig i forhold til omfanget av annen norsk fornybarproduksjonen. Dette betyr også at konkrete arealvurderinger med tilhørende konsekvenser må tas med i en eventuell overordnet strategi for

⁵⁸ Varmeproduksjon fra sol har oftest betydelig høyere energiutnyttelse og tilsvarende lavere arealkrav, men også langt lavere fleksibilitet på forbrukssiden.

⁵⁹ NVEs midlere årsproduksjon pr 2012: 130 TWh

utvikling av solkraft. Konklusjonen gjelder for øvrig for hele det aktuelle rommet for forbedringer i virkningsgraden (MacKay, 2009).

6.4.1.7 Økt nettkapasitet

Det norske kraftnettet består av et sentralnett på ca. 11 000 km, et regionalnett på om lag 19 000 km, som binder sammen sentralnettet med et distribusjonsnett (over 1 kV) på i underkant av 100 000 km (OED, 2013). Konsekvensene knyttet til linjene i sentralnettet (300-420 kV) er primært knyttet til landskapsopplevelsen på en måte som kan bli betydelig forsterket dersom utbyggingsomfanget blir særlig stort. Det kan da oppstå relevante sumvirkninger som skaper vesentlige barriereeffekter. Med et svært stort utbyggingsomfang er det sannsynlig at forholdet mellom lokale og nasjonale konfliktlinjer vil bli endret, med større behov for å se på overordnede problemstillinger - ikke minst dersom det store omfanget gjør det vanskelig å unngå verneområder og andre særlig verdifulle lokaliteter.

Fra noen av vannkraftverkene med effektpotensial kan det være aktuelt å benytte seg av likestrømskabler i sjø direkte til Europa. Disse kablene vil gi andre virkninger på naturmangfold enn luftspenn. Både studier av enkeltlinjer og den gjeldende nettmeldingen (Meld. St. 14, 2011-2012) viser at det er ganske urealistisk å kable det innenlandske sentralnettet utover noe føring i sjø og ved helt særskilte situasjoner på land. Utover de svært høye kostnadene skyldes dette at også kabling for disse anleggsdimensjonene krever betydelige inngrep.

Miljøkonsekvensene av kraftlinjer på lavere spenningsnivå (< 40 kV) kan være like store som de store linjene i sentral- og regionalnettet. Ikke minst gjelder dette i forhold til fugl, der dødelighet på grunn av kollisjoner og strømgjennomgang (elektrokusjon) ofte er større for ledninger på lavere spenningsnivå. På nye kraftlinjer med et spenningsnivå på inntil 22 kV skal kabel benyttes når de naturgitte forholdene tilsier moderate naturinngrep og ekstrakostnader sammenliknet med luftledninger. Ca. 50 prosent av nye 22 kV linjer blir i dag lagt i jordkabel.

6.4.1.8 Bioenergi

I hvilken grad bioenergi påvirker naturmangfold, landskap og friluftsliv avhenger i første rekke av hvilket råstoff som benyttes og i hvilket omfang. Bruk av biomasse fra avfall fra industri, næringsliv og husholdninger, slam fra renseanlegg og husdyrgjødsel til energiformål vil i liten grad påvirke viktige miljøverdier direkte. Den indirekte virkningen kan ofte være positiv ved at presset på verdifulle arealer og ressurser kan bli mindre.

Direkte konflikter synes i første rekke å være knyttet til bruk av biomasse fra skogen, hvis økt etterspørsel etter biomasse fører til økt avvirkning i rike skogtyper, truede vegetasjonstyper og habitater med konsentrasjoner av arter (spesielt rødlistearter) og i gammel naturskog. Nasjonale og internasjonale bærekrafts- og/eller miljøsertifiseringsordninger både for skogsdrift og for energibærere (som «levende skog standard» og EUs bærekraftskriterier for biodrivstoff) skal bidra til at konflikter unngås.⁶⁰ Gitt dagens rammebetingelser, er det etterspørselen etter skurtømmer som er hoveddriveren for avvirkningen. Avvirkning ut fra andre hensyn enn bioenergi vil generere avfall fra treindustrien og GROT som kan benyttes som bioenergi. Man kan ta ut rundt 70 prosent av hogstavallet uten at det forringer jordsmonnet eller gir tap av artsmangfold. Innføring av hurtigvoksende treslag kan også på lengre sikt påvirke naturmiljøet. I noen tilfeller vil uttak av biomasse være positivt særlig der uttaket er knyttet til naturtyper i kulturlandskapet, hvor gjengroing er den største trusselfaktoren.

⁶⁰ Se faktaboks i kapittel 4.4 om bærekraftskriteriene

Det er i dag ikke grunnlag for å vurdere om en framtidig storproduksjon av makro- og mikroalger kan medføre konflikter med naturmangfoldet.

6.5 Oppsummering

Norsk kraftforsyning er i dag basert på en stor andel fornybar energi. Samtidig har vi et generelt høyt energiforbruk som inkluderer betydelige mengder fossil energi. Norge har et stort naturgitt potensial for ytterligere fornybar produksjon. Dette gir muligheter både innenlands og knyttet til utveksling med andre land.

Vi har sett på energikonsekvenser som følge av overgangen til lavutslippssamfunnet slik det ellers er beskrevet i denne rapporten. Oppsummert har vi kommet til følgende:

Elektrisk kraft: Tiltakspakkene vi har utredet gir fra ingen til moderat økt etterspørsel etter elektrisitet mot 2030. Etterspørselen vil avhenge av ambisjonsnivået i sektorene med betydelig fossil energibruk, særlig i transport- og petroleumssektoren, og av i hvilken grad det gjennomføres effektiviseringstiltak. Både industri- og byggsektoren har et stort effektiviseringspotensial som kan kompensere for økt etterspørsel etter elektrisitet. Energieffektivisering er også viktig fordi all energiproduksjon har miljøkonsekvenser. Potensialet for ny produksjon av fornybar kraft i Norge er stort sammenliknet med etterspørselskonsekvensene av våre tiltak mot 2030.

Mot 2050 kan en økende andel nullutslippskjøretøy gi økt etterspørsel etter elektrisitet, særlig hvis hydrogen får stort gjennomslag som drivstoff. I industrien vil ytterligere konvertering fra fossil energi til elektrisitet tilsi større etterspørsel. I petroleumssektoren forventes det en noe lavere energietterspørsel i 2050 sammenliknet med 2030.

Bioenergi: Tiltakspakkene vi har utredet gir en moderat til betydelig økning i etterspørsel etter bioenergi mot 2030. Økningen ser ut til å være innenfor de teoretiske potensialene for produksjon av bioenergi i Norge. Samtidig vil bruk av biomasse til energiformål kreve avveier mot alternative bruksområder for biomasse som for eksempel trematerialer eller som reduksjonsmidler i industrien. I hvilken grad økt bruk av bioenergi påvirker naturmangfold, landskap og friluftsliv avhenger først og fremst av hvilke biomasseressurser som benyttes og i hvilket omfang.

Mot 2050 kan etterspørselen etter bioenergi øke. Dersom det viser seg at avansert biodrivstoff blir dominerende i transportsektorene vil dette kreve betydelige biomasseressurser. Tilsvarende kan biomasse brukt som energi eller råstoff bli mer etterspurt i industrien, for eksempel i produksjon av biobaserte kjemikalier og bioplast. Bioraffinerier forventes å kunne levere biobaserte produkter med en svært høy utnyttelse av biomassen. Andre biomasseressurser kan også bli gjort tilgjengelig mot 2050, slik som alger.

7. Noen avsluttende betraktninger

7.1 Norge på vei mot lavutslippssamfunnet

Vi har i denne rapporten analysert og drøftet Norge som et lavutslippssamfunn. 2050 er bare 35 år fram i tid. Om vi går 35 år bakover i tid, kommer vi til 1980. Mye har skjedd siden da, ikke minst innen informasjonsteknologien. Samtidig er mye av infrastrukturen vi hadde i 1980 innen samferdsel, energiforsyning og næringsstruktur den samme som i dag. Med andre ord, det er svært vanskelig å forutsi teknologiutviklingen frem mot 2050, samtidig vet vi at mange av de investeringene vi gjør i dag vil ha stor betydning for hvordan Norge vil være i 2050.

Vår hovedtilnærming har vært å beskrive Norge som et lavutslippssamfunn der resten av verden også reduserer sine utslipp i tråd med togradersmålet. Dersom man legger til grunn FNs klimapanels utslippsbaner i tråd med togradersmålet, krever dette at utslippene reduseres til mellom 1,5 til 3,1 tonn CO₂-ekvivalenter per innbygger som et verdensgjennomsnitt. Vår analyse illustrerer at det vil være mulig for Norge å redusere sine utslipp mot 2050 ned mot 1-2 millioner tonn per innbygger. Dette forutsetter store gjennombrudd knyttet til teknologiutvikling innen prosessindustrien, CCS i industrien, at offshore felt som fortsatt produserer i 2050 er elektrifisert, samt storskala innfasing av lavutslippskjøretøy og storstilt utbygging av kollektivnettet. Vi må også ha fokus hvordan vi produserer og forbruker mat.

Norge forventes å ha et netto opptak av karbon igjennom dette århundret som følge av aktiv skogforvaltning, særlig etter andre verdenskrig. I tillegg vil det være mulig å øke nettoopptaket av karbon i skog og andre landarealer med over 3 millioner tonn CO₂ årlig mot 2050 ved å sette i verk nye tiltak og virkemidler relativt raskt.

Norge har flere fortrinn med tanke på overgangen til et lavutslippssamfunn. Vi har en stor andel fornybar energi og et stort potensial for økt fornybarproduksjon. Vi har industri som innen enkelte bransjer er verdensledende på energieffektiv produksjon. Bransjer som ferrolegeringer og aluminium har store kompetansemiljøer i Norge, noe som er et godt utgangspunkt for utvikling og innovasjon. Vi har mange års erfaring med å fange og lagre CO₂. Vi har stort opptak av karbon i våre skoger, samtidig som skogen kan utnyttes som ressurs og til energiformål. Vi har også et godt utbygget virkemiddelapparat som har bidratt til at mange næringsaktører allerede har startet arbeidet mot en omstilling.

Det er imidlertid behov for å se hvordan virkemidlene kan endres og skaleres med tanke på den store omstillingen vi står ovenfor. Utslippsutviklingen så langt viser at vi ved hjelp av aktiv klimapolitikk i over 20 år har klart å bremse utslippsøkningen til tross for økt befolkning og velstand, men at vi ikke har fått til nasjonale utslippsreduksjoner. For å klare dette er det behov for et taktskifte. Det er behov for store omlegginger i mange sektorer og omleggingen må starte raskt.

Dagens beslutninger knyttet til nye store infrastrukturløsninger innen petroleum, bygg og transport vil være førende for utslippsnivået i 2050. Det må legges til rette for transportbesparende løsninger gjennom styrket areal- og transportplanlegging der overgangen til lavutslippssamfunnet er et premiss i alle beslutningsprosesser. For å sikre at alle enkeltbeslutninger trekker i riktig retning, er det nødvendig at myndighetene setter langsiktige og forutsigbare rammebetingelser.

En utfasing av fossil energi vil føre til økt etterspørsel etter fornybar energi. Samtidig har all energiproduksjon miljøkonsekvenser. Energieffektivisering er derfor viktig også i Norge. Dersom man klarer å utvikle nye energivarer, som bioenergi fra alger, vil dette kunne bidra både til å øke tilfanget av bioenergi og til å redusere arealkonflikten, som konflikten mellom matproduksjon og energiproduksjon. Begrep som "sirkulær økonomi" og "bioøkonomi" er blitt en del av klimavokabularet. Dette gjenspeiler erkjennelsen av at vi i framtiden må utnytte alle ressurser, ikke bare energi, mer effektivt. Eksempelvis kan økt materialgjenvinning og biologisk behandling av avfall erstatte uttak av ressurser og bruk av fossil energi.

7.2 Hvor kan Norge gjøre en forskjell?

I kapittel 2 pekte vi på de positive trendene som er viktige i et globalt perspektiv. Felles for dem alle er at myndigheter viser retning og er støttespillere for teknologiutvikling og innfasing av nye teknologier. Vi har i de ulike sektorkapitlene pekt på områder der Norge kan spille en rolle i den globale dugnaden som må til - og samtidig legge til rette for norske utslippsreduksjoner og et framtidsrettet næringsliv. Nedenfor fremheves noen områder som vi mener vil være sentrale. Selv om mange av disse strategiene må utvikles over tid, er det viktig å starte omstilling og omlegging nå.

Storskala elektrifisering av transportmidlene

Avkarbonisering av transportsektoren er av stor betydning for utslippsnivået i 2030 og 2050. Her har vi vært et foregangsland med virkemidler som har stimulert markedsintroduksjonen av elektriske biler og utvikling av ladestasjoner. Det er viktig å fortsette denne satsingen på kjøretøy med lave utslipp ved å videreføre virkemidlene og utvide satsingen til å inkludere flere kjøretøytyper enn personbiler (lastebiler, busser, anleggsmaskiner, traktorer, skip og ferger). Fordi utskiftingen av kjøretøyparken tar tid er det viktig å starte overgangen til nullutslipps-kjøretøy så tidlig som mulig: Eksempelvis må 100 prosent av nybilsalget av personbiler være nullutslippsbiler innen 2030 dersom personbilparken skal kunne bli utslippsfri i 2050.

Bygge framtidens byer og tettsteder

De mange små og store beslutningene ved ulike infrastrukturinvesteringer må trekke i samme retning, både i privat og offentlig sektor. Dette gjelder for eksempel beslutninger knyttet til etablering av nye næringsbygg, kjøpesenter og nye boligområder. Byggene må være energieffektive og ikke minst plasseres slik at transportbehovet blir minimalt. Storstilt utbygging av infrastruktur for kollektivtransport i og rundt de tettest befolkede områdene er nødvendig for å legge til rett for økt bruk av bane, tog og busser - samt mer sykkel og gange.

Styrke areal- og transportplanleggingen

På veien mot lavutslipp kreves det omstilling og bidrag fra mange aktører, og blant disse står norske kommuner i en særstilling. I kraft av å være planmyndighet, eier av infrastruktur og bygninger, innkjøper av varer og tjenester og lokal koordinator har kommunene en nøkkelrolle knyttet til mange viktige utfordringer for å redusere utslipp av klimagasser. Det er spesielt rollen som planmyndighet som gir kommunen mulighet til å påvirke samfunnsutviklingen på sentrale områder. Plasseringen av servicetilbud, boliger, arbeidsplasser og infrastruktur i forhold til hverandre legger også sterke føringer for hvordan transportbehovet kan dekkes, og dermed for det lokale utslippsnivået. Det er ikke mulig å se for seg at transportbehovet kan reduseres og bilavhengigheten går ned uten at klimahensyn tillegges vesentlig større vekt i areal- og transportplanlegging.

Karbonfangst og lagring (CCS)

Vår rapport viser at CCS antagelig blir avgjørende for å redusere norske industriutslipp fra for eksempel produksjon av sement, mineralgjødsel og kjemisk industri. Det er behov for teknologiutvikling både knyttet til fangst av utslipp fra ulike industrikilder og til transport og lagring. Her kan Norge bidra til å utvikle en teknologi som også kan spres til andre land. For eksempel står verdens sementproduksjon for ca. 5 prosent av de globale utslippene. Dersom CCS skal tas i bruk i stor utstrekning er det viktig at denne teknologien demonstreres i stor skala.

Utvikling av nye industriprosesser med minimale klimagassutslipp for norsk prosessindustri

Å utvikle teknologi som reduserer utslipp fra produksjon av sement og mineralgjødsel er viktig fordi disse sektorene er store utslippskilder globalt. Teknologi som reduserer prosessutslipp fra for eksempel ferrolegering- og aluminiumsproduksjon er viktig for å muliggjøre vekst av denne produksjonen globalt, uten å øke de globale utslippene. For å redusere utslippene ytterligere i disse sektorene, er det behov for teknologigjennombrudd. Videreføring av forskning, utvikling og etablering av pilotanlegg er viktig for å lykkes.

Styrke satsingen på utviklingen av biologisk baserte kjemikalier og drivstoff

Dette er et område hvor Norge har industriell kompetanse, hvor blant annet våtorganisk avfall og den norske skogen er et viktig ressursgrunnlag. Ressursgrunnlaget kan på lengre sikt økes gjennom nye ressurser som eksempelvis alger eller tare.

Utnytte ressursene i avfall

I et lavutslippsperspektiv forventer vi høyere grad av ressursutnyttelse av avfall enn i dag. Vi antar at det meste av potensialet for utslippsreduksjoner fra avfallsdeponier som ble identifisert i Klimakur er utløst, og det derfor først og fremst er ved tiltak rettet mot materialgjenvinning og biologisk behandling at avfallssektoren kan bidra med utslippsreduksjoner. Tiltak som bidrar til avfallsforebygging kan gi reduserte utslipp gjennom livsløpet fra framstilling av råvare og produkt til behandling av avfallet.

Hva bør man starte med raskt?

I tillegg til å ta tak i de langsiktige strategiene, er det en rekke tiltak som kan gjennomføres på kort sikt og som vil raske utslippsreduksjoner og samtidig bidra til å hindre "lock-in" i fossil infrastruktur som gjør det vanskeligere å nå et lavutslippssamfunn.

Ett viktig område er å følge opp og se til at virkemiddelapparatet er tilstrekkelig for å gjennomføre "enkle" utslippsreduksjoner. Det gjelder eksempelvis utfasing av fossil energi i byggsektoren. Dette er allerede vedtatt, men virkemidlene må på plass. Et annet område er utfasing av fossile energibærere til stasjonær forbrenning i industri og husholdninger der det er mulig, gjennom overgang til elkjeler, varmepumper, biokjeler eller biogass/oljer. Et tredje eksempel er å realisere energieffektiviseringsgevinster i industri, næringsliv og husholdninger.

Å få på plass ytterligere demonstrasjonsanlegg og systemer som demonstrerer klimaløsninger, eksempelvis innen CCS, eller lavutslippsløsninger i transport, vil øke forståelsen og erkjennelsen av at klimautfordringen er mulig å løse.

8. Referanser

- Klima- og miljødepartementet. (2014). *Norway's Sixth National Communication under the Framework Convention on Climate Change*. Klima- og miljødepartementet.
- Add Energy. (2009). *Mulighetsstudie - Miljøeffekter av kraftsamkjøring i Tampenområdet*. Rapport på oppdrag fra Oljedirektoratet. Add Energy.
- Akershus fylkeskommune. (2014). *Vil legge til rette for hydrogenbiler*. Hentet fra: http://www.akershus.no/ansvarsomrader/samferdsel/?article_id=202249 (Lest: 30.09.14). Akershus fylkeskommune.
- Alcoa. (26.08.14). *Personlig kommunikasjon*. Møte med Alcoa 26.08.14.
- Andersen, O. (2013). *Unintended Consequences of Renewable Energy*. London: Springer Verlag .
- Arnstadutvalget. (2010). *KRDs arbeidsgruppe for energieffektivisering i bygg*. Sluttrapport.
- Bergfald & Co as. (2007). *Klimanytte av gjenvinning*. Skrevet av Wilhelmsen, E., Skoog, K. og Solevåg, Ø.; Bergfald & Co as på oppdrag fra Norsk Industri, Norsk Returmetallforening og Norsk Returpappforbund. Bergfald & Co as.
- Bioforsk. (2013a). *Artikler og ressurser*. Hentet fra: http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema?p_dimension_id=22167&p_menu_id=22182&p_sub_id=22168&p_dim2=22178 (Lest: 30.09.14). Bioforsk.
- Bioforsk. (2013b). *Biokull som klimatiltak*. Hentet fra: http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema?p_dimension_id=22167&p_menu_id=22182&p_sub_id=22168&p_dim2=22176 (Lest: 30.09.14). Bioforsk.
- Bioforsk. (2013c). *Biokullprosjekter i Bioforsk*. Hentet fra: http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema?p_dimension_id=22167&p_menu_id=22182&p_sub_id=22168&p_dim2=22177 (Lest: 30.09.14). Bioforsk.
- Bioforsk. (2013d). *Relevanse for Norsk Landbruk*. Hentet fra: http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema?p_dimension_id=22167&p_menu_id=22182&p_sub_id=22168&p_dim2=22175 (Lest: 30.09.14). Bioforsk.
- Bioforsk. (2014). *Klimagasser fra jordbruket - Kunnskapsstatus om utslippskilder og tiltak for å redusere utslippene*. Rapport skrevet av Grønlund, A.; Bioforsk Jord og miljø, og Harstad, O. M.; Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Rapport Vol. 9 Nr. 11 2014. Bioforsk.
- Bright, R., Strømman, A., & Peters, G. (2011). *Radiative forcing impacts on boreal forest biofuels: a scenario study of Norway in light of albedo*. Environmental Science and Technology, 45: 7570-7580.
- Bruvoll, A., Fiksen, K., Ibenholt, K., & Tennbakk, B. (2011). *Itjnå som kjæm tå sæ sjøl? Hvorfor utløses ikke de lønnsomme klimatiltakene i Klimakur? THEMA Rapport 2011-11, Vista Analyse Rapport 2011-36*.
- Caldecott, B., & McDaniels, J. (2014). *Stranded generation assets: Implications for European capacity mechanisms, energy markets and climate policy*. Stranded Assets Programme Working Paper - January 2014. University of Oxford.
- 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 av Carbon Limits for Miljødirektoratet. CL-2013-29, M-82/2013. Miljødirektoratet.
- Carbon Limits. (2014). *Konsekvenser av lave kvotepriser i EU ETS*. Utarbeidet av Carbon Limits i samarbeid med Norsk Energi for Miljødirektoratet. CL-2014-01, M-151/2014. Miljødirektoratet.
- Carbon Tracker & ASrIA. (2014). *The Great Coal Cap - China's energy policies and the financial implications for thermal coal*. Carbon Tracker & ASrIA.

- Chambers, M. (2014). *Is Merkel's green zeal turning brown?* Carbon Market Daily 4. september 2014, 11(166): 1-4. Thomson Reuters.
- De Weerd, K. (2011). *Blended cement with reduced CO2 emission- utilizing the fly ash-limestone synergy*. Doktoravhandling ved NTNU, ISSN 1503-8181; 2011:32.
- Department of Energy and Climate Change. (2011). *The Carbon Plan: Delivering our low carbon future*. Department of Energy and Climate Change.
- Det Norske Veritas. (2013). *Anchoring the future offshore power*. KENNO480JOSLA131202-1 . Det Norske Veritas.
- Deutsche Bank. (2013). *China: Big bang measures to fight air pollution*. Asia Economics Special, 3. mars 2013. Hong Kong: Deutsche Bank AG.
- Ecoinvent. (2014). *The ecoinvent Database*. Hentet fra: <http://www.ecoinvent.org/database/> (Lest: 07.09.14).
- EEA. (2012). *Consumption and the Environment - 2012 Update. The European Environment. State and Outlook 2010*. European Environment Agency.
- Einbu, A. (2012). *Fossilbaserte realiteter gjør CCS nødvendig*. Hentet fra: <http://energiogklima.no/kommentar-analyse/fossilbaserte-realiteter-gjor-ccs-nodvendig/> (Lest 23.09.14).
- Element Energy Limited. (2010). *Potential for the application of CCS to UK industry and natural gas power generation*. Final Report Issue 3 28/06/2010. Cambridge: Element Energy Limited.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *The circular economy applied to the automotive industry*. Hentet fra: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/news/the-circular-economy-applied-to-the-automotive-industry-1> (Lest: 28.09.14).
- Energi21. (2013). *Fornyett strategi for FOU-D innen solkraft i Norge*. Olje- og energidepartementet.
- Energi21. (2014). *ENERGI 21 - strategi 2014*. Olje- og energidepartementet.
- energifakta.no. (2014). *Energiinnhold og tetthet for brensler*. Hentet fra: <http://www.energifakta.no/documents/Fakta/Omregning/Brensler.htm> (Lest: 30.09.14).
- Enova. (2012). *Potensial- og barrierestudie. Energieffektivisering i norske bygg*. Rapport 2012:01. . Enova.
- Enova. (2014). *Vedovn*. Hentet fra: <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/vedovn/vedovn/118/140/> (Lest: 30.09.14). Enova.
- EPIA. (2014). *Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018*. European Photovoltaic Industry Association.
- europa.eu. (2014). *Questions and answers on security of energy supply in the EU*. MEMO/14/379 28/05/2014. Hentet fra: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-379_en.htm (Lest: 30.09.14). European Commission.
- European bioplastics. (2013). *Bioplastics facts and figures*. European bioplastics.
- European Commission. (2011). *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*. European Commission.
- European Commission. (2014a). *EU looks to strengthen energy security - 04/06/2014*. Hentet fra: http://ec.europa.eu/news/energy/140604_en.htm (Lest: 28.09.14). European Commission.
- European Commission. (2014b). *Waste - End of Life Vehicles*. Hentet fra: http://ec.europa.eu/environment/waste/elv_index.htm (Lest: 28.09.14). European Commission.
- FNI. (2014). *Den britiske klimalovens første fem år*. Fridtjof Nansens Institutt.
- Forbes.com. (2014). *The State Of The Chinese Solar Market*. Hentet fra: <http://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2014/04/30/the-state-of-the-chinese-solar-market/> (Lest: 26.08.14).
- fornybar.no. (2014). *Teknologi*. Hentet fra: www.fornybar.no/solenergi/teknologi (Lest: 30.09.14).
- Forskningsrådet. (2013). *National Survey Report of PV Power Applications in Norway 2012*. Utarbeidet under IEA-PVPS av Asplan Viak og KanEnergi AS. Forskningsrådet.

- Frauenhofer ISE. (2014). *Recent Facts about Photovoltaics in Germany*. April 2014. Frauenhofer ISE.
- Fulton, L., & Bremson, J. (2014). *Assessing the Impacts of Rapid Uptake of Plug in Vehicles in Nordic Countries*. Research Report - UCD-ITS-RR-14-02. Davis: Institute of Transportation Studies, University of California.
- Gassnova. (2014). *Hva er CO2-fangst?* Hentet fra: <http://www.gassnova.no/no/fakta-om-ccs/hva-er-co2-fangst> (Lest: 12.06.14). Gassnova.
- Georgianna, D., & Mayfield, S. (2012). *Exploiting diversity and synthetic biology for the production of algal biofuels*. *Nature*, 488: 329-335.
- Global CCS institute. (2014). *The Global status of CCS*. Global CCS institute.
- Graichen, P. (2014). *Insights from Germany's Energiewende*. Presentasjon ved RERC Conference i Oslo 16. juni 2014. Dr. Patrick Graichen, Executive Director, Agora Energiewende .
- Grønlund, A. (2007). *Hvilke klimabidrag gir bruk av kompost/biorest?* Foiler fra foredrag på Avfall Norges Bioseminar, 27.09.07.
- Grønlund, A. (2014). *Hjelp til arbeid i forbindelse med lavutslippssamfunn*. E-postutveksling med Arne Grønlund, 16.09.14.
- GTM. (2014). *Solar Module Spot Prices Hit Historic Lows in Q2 2014*. Hentet fra: <http://www.greentechmedia.com/articles/read/q2-2014-lowest-module-spot-prices-ever> (Lest: 26.08.14). Greentech Media.
- Halmann, M., Epstein, M., & Steinfeld, A. (2012). *Carbothermic Reduction of Alumina by Natural Gas to Aluminum and Syngas: A Thermodynamic Study*. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 33: 352-361.
- Hammond, G., & Seth, S. (2013). *Carbon and environmental footprinting of global bio-fuel production*. *Applied Energy*, 112: 547-559. doi:10.1016/j.apenergy.2013.01.009.
- Hasanbeigi, A., Price, L., & Lin, E. (2012). *Emerging Energy-efficiency and CO2 Emission-reduction Technologies for Cement and Concrete Production*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Heck, S., & Rogers, M. (2014). *Are you ready for the resource revolution?* Artikkel, McKinsey Quarterly, Mars 2014 . McKinsey & Company.
- Helsedirektoratet. (2013). *Utviklingen i norsk kosthold - matforsyningsstatistikk*. Rapport IS-2116. Helsedirektoratet.
- Holtmark, B. (2010). *Use of wood fuels from boreal forests will create a biofuel carbon debt with a long payback time*. Discussion papers No. 637, November 2010. Statistics Norway, Research Department.
- Hydro. (02.09.14). *Personlig kommunikasjon*. Møte med Hydro 02.09.14.
- IEA. (2006). *Hydrogen Production and Storage, R&D Priorities and Gaps*. International Energy Agency.
- IEA. (2012). *Energy Technology Perspectives 2012 - Pathways to a Clean Energy System*. International Energy Agency.
- IEA. (2013a). *Technology roadmap - Carbon Capture and storage*. International Energy Agency.
- IEA. (2013b). *World Energy Outlook - New Policies Scenario*. International Energy Agency.
- IEA. (2014a). *Energy Technology Perspectives - Harnessing Electricity's Potential*. International Energy Agency.
- IEA. (2014b). *Tracking Clean Energy Progress 2014*. International Energy Agency.
- IEA-RETD. (2014). *Accelerating the commercialisation of emerging renewable energy technologies (REInnovationChain)*. [Murphy, B., T. Jennings, M. Hughes, M. Ashcroft, O. Burke, N. Lehmann, A. Hope-Morley; The Carbon Trust/Element Energy]. Utrecht: IEA Implementing Agreement for Renewable Energy Technology Deployment (IEA-RETD).
- IFE. (2013). *TIMES-Norway model documentation* . Rapport skrevet av Lind, A. & Rosenberg, E. Rapport nr. IFE/KR/E-2013/001. Institutt for energiteknikk.

- IPCC. (2000). *Land Use, Land-Use Change and Forestry*. [Robert T. Watson, Ian R. Noble, Bert Bolin, N. H. Ravindranath, David J. Verardo and David J. Dokken (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- IPCC. (2005). *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Pachauri, R.K. and A. Reisinger (eds.)]. Genève, Sveits: Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- JRC. (2014). *EU renewable energy targets in 2020: Revised analysis of scenarios for transport fuels*. JRC Science and Policy Reports. JEC Biofuels Programme. Joint Research Centre.
- Katakey, R., & Chakraborty, D. (2014). *Modi to Use Solar to Bring Power to Every Home by 2019*. Hentet fra: <http://www.bloomberg.com/news/2014-05-19/modi-to-use-solar-to-bring-power-to-every-home-by-2019.html> (Lest: 28.09.14). Bloomberg.
- Klif. (2010a). *Tiltak og virkemidler for økt opptak av klimagasser fra skogbruket*. Sektorrapport Klimakur 2020. TA-2596/2010. Klima- og forurensningsdirektoratet.
- Klif. (2010b). *Tiltak og virkemidler for å redusere klimagassutslippene fra norsk industri*. Sektorrapport Klimakur 2020. TA-2594/2010. Klima- og forurensningsdirektoratet.
- Klif. (2011). *Skog som biomasseressurs*. Rapport TA-2762/2011. Klima- og forurensningsdirektoratet.
- Klif. (2013a). *Underlagsmateriale til tverrsektoriell biogass-strategi*. Rapport. TA 3020/2013. Oslo: Klima- og forurensningsdirektoratet.
- Klif. (2013b). *Utslipp av klimagasser 1990-2010 - Trender og drivkrefter*. Rapport. TA 3022/2013. Oslo: Klima- og forurensningsdirektoratet.
- Klimakur 2020. (2010). *Klimakur 2020 - Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020*. Rapport. TA 2590/2010. Oslo: Klima- og forurensningsdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oljedirektoratet, Statistisk sentralbyrå, Statens vegvesen.
- KonKraft. (2009). *KonKraft-rapport 5, Petroleumsnæringen og klimaspørsmål*. KonKraft.
- Liebreich, M. (2014). *Trends in the global renewable energy market*. Presentasjon ved Fornybarkonferansen i Bergen 11. juni 2014. Michael Liebreich, Founder & CEO Bloomberg New Energy.
- MacKay, D. J. (2009). *Sustainable Energy - Without the Hot Air*. Cambridge: UIT Cambridge Ltd.
- Mackenzie, C. (2013). *The low-carbon China scenario - 11/10/2013*. Hentet fra: <http://www.swip.com/institutional-investor/managers-and-funds/fund-managers/craig-mackenzie/> (Lest: 28.09.14). Craig Mackenzie, Investor Director and Head of Sustainability, Aberdeen Asset Management.
- Meld. St. 12. (2012-2013). *Perspektivmeldingen 2013*. Finansdepartementet.
- Meld. St. 14. (2011-2012). *Vi bygger Norge*. Olje- og energidepartementet.

- Meld. St. 21. (2011-2012). *Norsk klimapolitikk*. Miljøverndepartementet.
- Meld. St. 28. (2011-2012). *Gode bygg for eit betre samfunn. Ein framtidsretta bygningspolitikk*. Kommunal og regionaldepartementet .
- Meld. St. 9. (2011-2012). *Velkommen til bords*. Landbruks- og matdepartementet.
- Mepex. (2012a). *Økt utnyttelse av ressursene i plastavfall*. Rapport levert av Mepex Consult på oppdrag fra Klima- og forurensningsdirektoratet. TA-2956/2012. Klima- og forurensningsdirektoratet.
- Mepex. (2012b). *Økt utnyttelse av ressursene i våtorganisk avfall*. Rapport skrevet av Marthinsen, J.; Mepex Consult, på oppdrag fra Klima- og forurensningsdirektoratet. Rapport TA-2957/2012. Klima- og forurensningsdirektoratet.
- Mercado, L., Bellouin, N., Sitch, S., Boucher, O., Huntingford, C., Wild, M., & Cox, P. (2009). *Impact of changes in diffuse radiation on the global land carbon sink*. Letter to Nature 458: 1014-1017. doi:10.1038/nature07949.
- Miljødirektoratet. (2013a). *Forslag til handlingsplan for norske utslipp av kortlevde klimadrivere*. Rapport. M89/2013. Miljødirektoratet.
- Miljødirektoratet. (2014a). *Arealbeslag for landbasert vindkraft i Norge pr. 1.7.2014*. Miljødirektoratet.
- Miljødirektoratet. (2014b). *Faglig grunnlag for videreutvikling av den nasjonale og internasjonale klimapolitikken - Klimatiltak mot 2020 og plan for videre arbeid*. Rapport M133/2014. Miljødirektoratet.
- Miljødirektoratet et al. (2013). *Planting av skog på nye arealer som klimatiltak - Egnede arealer og miljøkriterier*. Rapport M26/2013. Miljødirektoratet, Statens Landbruksforvaltning og Norsk institutt for skog og landskap.
- Miljødirektoratet et al. (2014a). *Greenhouse Gas Emissions 1990-2012, National Inventory Report*. Skrevet av Miljødirektoratet, Statistisk Sentralbyrå og Norsk institutt for skog og landskap. Rapport. M137/2014. Miljødirektoratet.
- Miljødirektoratet et al. (2014b). *Måltrettet gjødsling av skog som klimatiltak - Egnede arealer og miljøkriterier*. Rapport M174/2014. Miljødirektoratet, Statens Landbruksforvaltning og Norsk institutt for skog og landskap.
- Miljødirektoratet et al. (2014c). *Tiltaksanalyse NOx 2014*. Rapport. M243/2014. Miljødirektoratet, Sjøfartsdirektoratet, Oljedirektoratet, Fiskeridirektoratet, Statens vegvesen, NOx-fondet.
- Miljøstatus i Norge. (2013). *Truede arter*. Hentet fra: <http://www.miljostatus.no/Tema/Naturmangfold/Truede-arter/> (Lest: 30.09.14).
- Miljøstatus i Norge. (2014). *Globalt oppvarmingspotensial*. Hentet fra: <http://www.miljostatus.no/Tema/Klima/Drivhuseffekten/Globalt-opppvarmingspotensiale/> (Lest: 30.09.14). Miljødirektoratet.
- Miljøverndepartementet. (2012). *Klimaforliket vedtatt i Stortinget*. Hentet fra regjeringens dokumentarkiv: <http://www.regjeringen.no/nb/dokumentarkiv/stoltenberg-ii/md/Nyheter-og-pressemeldinger/nyheter/2012/klimaforliket-vedtatt-i-stortinget.html?id=684927> (Lest: 30.09.14). Miljøverndepartementet.
- Moody, J., McGinty, C., & Quinn, J. (2014). *Global evaluation of biofuel potential from microalgae*. PNAS, 11 (23): 8691-8696.
- Morgan Stanley. (2014a). *Batteries + Distributed Gen. May Be a Negative for Utilities*. Morgan Stanley Research, 4. mars 2014.
- Morgan Stanley. (2014b). *Nikola's Revenge - Part 2: Distributed Energy Liberator*. Morgan Stanley Research, 4. mars 2014.
- Multiconsult. (2013). *Kostnadsstudie, Solkraft i Norge 2013*. Utarbeidet av Multiconsult på oppdrag fra Enova SF. Dokumentkode 125340-RIEn-RAP-001. Enova SF.
- Naturkraft. (2014). *Gasskraftverket på Kårstø*. Hentet fra: <http://www.naturkraft.no/om-gasskraftverk/gasskraftverket-pa-karsto/> (Lest 22.09.14).

- NHO. (2014). *Norske energiresurser i det grønne kappløpet. NHOs politikkdokument Energi, klima og næringsutvikling*. Næringslivets Hovedorganisasjon.
- NIST. (2014). *Energy Storage & Delivery*. Hentet fra: http://www.nist.gov/mml/msed/functional_polymer/fuelcell.cfm (Lest: 30.09.14). The National Institute of Standards and Technology.
- NIVA. (2011). *Utredning om CO₂-opptak i marine naturtyper*. Rapport LNR 6070-2010. Norsk institutt for vannforskning.
- Norcem. (15.09.14). *Personlig kommunikasjon*. Møte med Norcem 15.09.14.
- Notenboom, J., Boot, P., Koelemeijer, R., & Ros, J. (2012). *Climate and Energy Roadmaps towards 2050 in north-western Europe*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- NOU 2004: 11. (2004). *Hydrogen som fremtidens energibærer*. Rapport.
- NOU 2012: 9. (2012). *Energiutredningen - verdiskaping, forsyningssikkerhet og miljø*. Rapport. Olje- og energidepartementet.
- NVE. (2010a). *Klimagassutslipp fra fjernvarme: Tiltak og virkemidler - et innspill til Klimakur 2020*. Rapport 3/2010. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2010b). *Tiltak og virkemidler for redusert utslipp av klimagasser fra norske bygninger - et innspill til Klimakur 2020*. Rapport 4/2010. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2011). *Kostnader ved produksjon av kraft og varme*. Rapport nr. 1/2011. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2012). *Havvind - strategisk konsekvensutredning*. Rapport nr. 47/2012. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2014a). *Bioenergi i Norge*. Rapport 41/2014. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2014b). *Energibruksrapporten 2013 - Fremtidens energibruk i bygninger*. Rapport nr. 11/2014. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2014c). *Vannkraft*. Hentet fra: <http://www.nve.no/no/Energi1/Fornybar-energi/Vannkraft/> (Lest: 28.09.14). Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2014d). *Vindkraft - Produksjon i 2013*. Rapport nr. 20/2014. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Näringsdepartementet. (2013). *Fossilfrihet på väg*. Statens offentliga utredningar. SOU 2013:84. Stockholm: Näringsdepartementet.
- OD. (2014). *CO₂ storage atlas Norwegian continental shelf*. Oljedirektoratet.
- OD, NVE, PTIL og SFT. (2008). *Kraft fra land til norsk sokkel*. Oljedirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Petroleumstilsynet, Statens forurensningstilsyn.
- OECD. (2013). *Inventory of Estimated Budgetary Support and Tax Expenditures for Fossil Fuels*. Organisasjonen for økonomisk samarbeid og utvikling, OECD.
- OED. (2008). *Strategi for økt utbygging av bioenergi*. Olje- og energidepartementet.
- OED. (2012). *Energiutredningen - verdiskaping, forsyningssikkerhet og miljø*. Rapport. NOU1012:9. Olje- og energidirektoratet.
- OED. (2013). *Fakta 2013 Energi- og vannressurser i Norge*. Olje- og energidepartementet.
- OED og OD. (2012). *Fakta 2012 Norsk Petroleumsvirksomhet*. Olje- og energidepartementet.
- OED og OD. (2014). *Fakta 2014 Norsk Petroleumsvirksomhet*. Olje- og energidepartementet.
- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (2014). *Mission*. Hentet fra: <http://energy.gov/eere/sunshot/mission> (Lest:28.09.14). U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.
- PBL. (2012). *Climate and Energy Roadmaps towards 2050 in north-western Europe*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Plastics Europe. (2013). *Plastics - the Facts 2013*. Plastics Europe.
- Point Carbon. (2014). *Long term EUA price outlook: Abatement in sight*. Carbon Market Analyst.
- Prop. 1 LS. (2013-2014). *Skatter, avgifter og toll 2014*. Finansdepartementet.

- Prop. 106 S. (2013-2014). *Jordbruksoppkjøret 2014 - endringer i statsbudsjettet 2014 m.m.* Landbruks- og matdepartementet.
- Ptil. (2009). *Sikkerhet Status og Signaler 2009-2010*. Petroleumstilsynet.
- Raadal, H. L. (2014). *Energiutnyttelse og materialgjenvinning hånd i hånd*. Presentasjon på Avfall Norges seminar "Energiutnyttelse av avfall i industriell økologi". Fredrikstad: Østfoldforskning.
- Rasse, D., & Grønlund, A. (2010). *Biokull som jordforbedringsmiddel og klimatiltak*. Foiler fra foredrag på Bioforsk-konferansen 2010. Bioforsk Jord og Miljø.
- Ressurs og Miljø AS. (2012). *Varme og Energiplan for Longyearbyen 2012 - 2021. Rapport for Longyearbyen Lokalstyre*. Ressurs og Miljø AS.
- Ribeiro, L., & da Silva, P. (2013). *Surveying techno-economic indicators of microalgae bio-fuel technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25: 89-96.
- Rindal, L. B., & Salvesen, F. (2008). *Solenergi for varmeformål - snart lønnsomt*. Oppdragsrapport skrevet av Rindal, L. B. og Salvesen, F., KanEnergi AS, på oppdrag fra NVE. Rapport nr. 10/2008. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- RISCS. (2014). *A Guide to potential impacts of leakage from CO2 storage*. Pearce, J, Blackford, J, Beaubien, S, Foekema, E, Gemeni, V, Gwosdz, S, Jones, D, Kirk, K, Lions, J, Metcalfe, R, Moni, C, Smith, K, Steven, M, West, J and Ziogou, F. British Geological Survey. Available from www.riscs-co2.eu 70 pages.
- RUSAL. (2013). *UC RUSAL starts rig testing of the industrial inert anode pot*. Press release: 4. februar 2013.
- Rystad Energy. (2013). *Petroleum production under the two degree scenario (2DS)*. Rapport fra Rystad Energy på oppdrag fra Miljøverndepartementet. Rystad Energy.
- Røkke, N. A., & Eldrup, N. (2011). *Hva koster egentlig CO2-håndtering?* MAGMA 02/2011: 42-56.
- SEIA & GTM Research. (2014). *U.S. Solar Market Insight Report: 2013 Year-in-Review*. Solar Energy Industries Association (SEIA) og GTM Research.
- SIFO. (2012). *Potensiale for økt materialgjenvinning av tekstilavfall og andre avfallstyper (papir/papp, metall og glass)*. Fagrapport nr. 2 - 2012. Statens institutt for forbruksforskning.
- SINTEF & KanEnergi. (2011). *Mulighetsstudie - Solenergi i Norge*. SINTEF & KanEnergi.
- Sintef Energi. (2014). *Noen avsnitt om dampbunnsyklus*. e-post fra Sintef Energi 25.09.14.
- SINTEF; FFF. (20.08.14). *Internseminar om lavutslippsteknologier i ferrolegeringsindustrien*. 20.08.14.
- Sjånes, K., Rebours, C., & Lindblad, P. (u.d.). *Potential for green algae to produce hydrogen, pharmaceuticals and other high value products in a combined process*. Critical reviews in Biotechnology, 33 (2): 172-215 .
- Skog22. (2014). *Delrapport Skog22 - Arbeidsgruppe fiber og bioraffineri, 27.august 2014*.
- SLF. (2014). *Klima- og miljøprogrammet i jordbruket*. Hentet fra: <https://www.slf.dep.no/no/miljo-og-okologisk/klima-og-miljoprogrammet/om-klima-og-miljoprogrammet#klima--og-miljoeprogrammet-> (Lest: 30.09.14). Statens landbruksforvaltning.
- SLF. (2014). *Miljøstatus i landbruket for 2013, Tematisk vurdering av miljøstatus og miljøutvikling i landbruket*. Rapport-nr. 9/2014. Statens landbruksforvaltning.
- Solvang, E., Harby, A., & Killingtveit, Å. (2012). *Increasing balance power capacity in Norwegian hydroelectric power stations*. Report TR A7195. SINTEF Energy.
- SSB. (2012). *Befolkningsframskrivinger, 2012-2100*. Hentet fra: <http://ssb.no/befolkning/statistikker/folkfram/aar/2012-06-20> (Lest: 30.09.14). Statistisk sentralbyrå.

- SSB. (2013a). *Kostnadseffektive tilpasninger til togradersmålet i Norge og EU fram mot 2050*. Rapport skrevet av Fæhn, T., Isaksen, E. T. og Rosnes, O. Rapport 39/2013. Statistisk sentralbyrå.
- SSB. (2013b). *Samferdsel og miljø 2013. Utvalgte indikatorer for samferdselssektoren*. Brunvoll, F. & Monsrud, J. (red.). Statistisk Sentralbyrå.
- SSB. (2014a). *Avfallsregnskapet, 2012*. Hentet fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avfregno> (Lest: 30.09.14). Statistisk sentralbyrå.
- SSB. (2014b). *Elektrisitetspriser, 2. kvartal 2014*. Hentet fra: <http://www.ssb.no/elkraftpris/> (Lest: 28.09.14). Statistisk sentralbyrå.
- SSB. (2014c). *Tabell: 04730: Forbruk av brensel til bruttoproduksjon av fjernvarme, etter energikilde (GWh)*. Hentet 17.09.14 fra: <https://www.ssb.no/statistikkbanken> . Statistisk sentralbyrå.
- SSB. (2014d). *Tabell: 08307, Produksjon, import, eksport og forbruk av elektrisk kraft*. Hentet 17.09.14 fra: <https://www.ssb.no/statistikkbanken> . Statistisk sentralbyrå.
- SSB. (2014e). *Årlig nasjonalregnskap, 2013*. Hentet fra: <https://www.ssb.no/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/statistikker/nr/aar> (Lest: 30.09.14). Statistisk sentralbyrå.
- Statnett. (2013). *Nettutviklingsplan 2013 - Nasjonal plan for neste generasjon kraftnett*. Oslo: Statnett.
- StatoilHydro. (2008). *CO2 Masterplan Mongstad*. StatoilHydro.
- Søgaard, G., Astrup, R., Anton-Fernandez, C., Dalsgaard, L., Borgen, S., & von Lüpke, N. (2014). *Framskrivninger for skog og andre landarealer (LULUCF-sektoren)*. Notat, ikke publisert. Norsk institutt for skog og landskap.
- Sørensen, Å., & Ellingsen, J. (2011). *Praktisk bruk av biokull i landbruket: Karbonlagring og jordforbedring*. Rapport til Statens landbruksforvaltning. Statens landbruksforvaltning.
- Tel-Tek. (2009). *CO2 fangst av utslipp fra industrianlegg*. Tel-Tek report no 2109020. TA-2528/2009. Telemark Tenisk Industrielle Utviklingssenter.
- TEMPO. (2014). *Vegen mot klimavennlig transport*. [Fridstrøm, L. & Alfsen, K.H. (red)]. TØI rapport 1321/2014. Transportøkonomisk institutt.
- The Economist. (05.07.14). *Green bonds - Green grow the markets, O*. Hentet fra: <http://www.economist.com/news/finance-and-economics/21606326-market-green-bonds-booming-what-makes-bond-green-green-grow> (Lest: 30.09.14). The Economist.
- The Global Commission on the Economy and Climate. (2014). *Better Growth Better Climate - The New Climate Economy Report*. Washington DC, USA: New Climate Economy.
- The Guardian. (10.07.14). *China makes new electric cars tax-free*. Hentet fra: <http://www.theguardian.com/environment/2014/jul/10/china-exempts-electric-cars-from-tax> (Lest: 28.09.14). The Guardian.
- Tizir. (27.05.14). *Personlig kommunikasjon*. Møte med Tizir 27.05.14.
- Torvanger, A., Grimstad, A., Lindeberg, E., Rive, N., Rypdal, K., Skeie, R., . . . Tollefsen, P. (2012). *Quality of geological CO2 storage to avoid jeopardizing climate targets*. Climate Change, 114 (2): 245-260.
- TU. (03.02.14). *Kjøpte Recs nedlagte fabrikk til spottpreis*. Hentet fra: <http://www.tu.no/industri/2014/02/03/kjopte-recs-nedlagte-fabrikk-til-spottpreis> (Lest 30.09.14). Teknisk ukeblad.
- TU. (03.10.14). *Taper 100 millioner i året - nå stenges Kårstø-kraftverket*. Hentet fra: <http://www.tu.no/kraft/2014/10/03/taper-100-millioner-i-aret---na-stenges-karsto-kraftverket> (Lest: 03.10.14). Teknisk Ukeblad.
- U.S. Departement of Energy. (2014). *2013 Wind Technologies Market Report*. Rapport, august 2014. US Departement of Energy.
- U.S. Department of Energy. (2013). *Revolution Now - The Future Arrives for Four Clean Energy Technologies*. U.S. Department of Energy.

- UBA. (2010). *2050: 100 % - Energy target 2050: 100 % renewable electricity supply*. Umweltbundesamt.
- UBA. (2013). *Germany 2050 a greenhouse gas-neutral country*. Background Paper // October 2013. Umweltsbundesamt.
- UBA. (2014). *Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050*. Climate Change | 07/ 2014. Umweltsbundesamt.
- UBS. (2014). *Will solar, batteries and electric cars re-shape the electricity system?* Q-Series: Global Utilities, Autos & Chemicals, 20 August 2014. UBS.
- UK Climate Change Act . (2008). *Paragraf 27(5)*. Hentet fra: <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/contents> (Lest: 30.09.14).
- UN. (2013). *World Population Prospects: the 2012 Revision*. United Nations, New York.
- UNEP. (2014). *Decoupling 2: Technologies, Opportunities and Policy Options*. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. von Weizsäcker, E.U., de Lardrel, J, Hargroves, K., Hudson, C., Smith, M., Rodrigues, M.
- Unger, N. (2014). *Human land-use-driven reduction of forest volatiles cools global climate*. Letter to Nature Climate Change 4: 907-910. doi:10.1038/climate2347.
- US Recovery Act . (2009). *American Recovery and Reinvestment Act of 2009*. Hentet fra: http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review12/55568-12_arra.pdf (Lest: 30.09.14).
- USGS. (2014). *Mineral commodity summaries 2014*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey.
- vindportalen.no. (2014). *Vindkraftverk i Norge*. Hentet fra: <http://www.vindportalen.no/vindkraft-i-norge.aspx> (Lest 30.09.14). Norwea & EnergiNorge.
- World Bank. (2014). *GDP growth (annual %)* . World Bank database. Hentet fra: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG/countries/EU?display=graph> (Lest: 30.09.14). The World Bank Group.
- World Bank; Ecofys. (2014). *State and trends of carbon pricing 2014*. State and trends of carbon pricing. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2014/05/19572833/state-trends-carbon-pricing-2014>. Washington, DC: World Bank Group.
- Yara. (26.09.14). *Personlig kommunikasjon*. Møte med Yara 26.09.14.
- Østfoldforskning. (2013). *Kunnskap om matsvinn fra norske husholdninger*. Rapport til Miljødirektoratet skrevet av Hanssen, O. J., Skogesal, O., Møller, H., Vinju, E., Syversen, F. M102/2014. Østfoldforskning i samarbeid med Mepex og Statistisk Sentralbyrå.

Vedlegg 1. Oppdragsbrev

Oppdrag til Miljødirektoratet - Fase 2, kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling

Klima- og miljødepartementet viser til brev til Miljødirektoratet av 16. januar 2014 om arbeidet med tiltaksanalyser og virkemidler. Levering av fase 1 av oppdraget ble oversendt departementet i brev 7. mars. I dette oppdragsbrevet gis føringer for andre fase av dette arbeidet.

Andre fase av oppdraget skal bidra til et nødvendig kunnskapsgrunnlag for videreutvikling av klimapolitikken, med vekt på hvordan ulike tiltak og virkemidler kan bidra til omstilling retning av at Norge skal bli et lavutslippssamfunn i 2050.

Oppdraget om Norge som lavutslippssamfunn i 2050 skal bidra med faglig underlag inn i flere viktige prosesser i klima- og miljødepartementet i 2014 og 2015, blant annet utforming av ny klimaforpliktelse for Norge (internasjonal frist 1. kvartal 2015)

Regelmessig oppdatering av kunnskapsgrunnlaget for klimapolitikken

Det er en kjerneoppgave for Miljødirektoratet å sørge for at kunnskapsgrunnlaget for klimapolitikken oppdateres regelmessig, og at relevant materiale fra Klimakur og andre utredninger oppdateres når viktige forutsetninger er endret. Dette omfatter blant annet ansvar for oppdaterte tiltaks- og virkemiddelanalyser som kartlegger potensialet for utslippsreduksjoner og kostnader ved ulike tiltak, samt regelmessig resultatoppfølging av målene i klimapolitikken. Miljødirektoratet skal i dette arbeidet involvere berørte etater ved behov og ta initiativ til egnede strukturer for videre samarbeid, herunder ta initiativ til dybdestudier på enkeltområder hvor kunnskapsgrunnlaget bør styrkes. Direktoratet skal også bistå departementet med vurderinger relatert til arbeidet med forsterking av klimaforliket.

Faglige innspill til arbeidet med ny klimaforpliktelse for Norge og forsterking av klimaforliket

Norge skal innen utgangen av første kvartal 2015 melde inn til FN et foreløpig mål for reduksjon av utslipp av klimagasser for perioden etter 2020. Aktuelle målår er 2025 og 2030.

Det sentrale faglige grunnlagsmaterialet for dette arbeidet må være på plass innen september/oktober 2014, for å kunne gjøre en samlet vurdering av mulig norsk ambisjonsnivå i tide til å nå fristen i 2015. De faglige analysene for forpliktelser på kortere sikt bør ses i sammenheng med målet om at Norge skal bli et lavutslippssamfunn i 2050 og bidra til å videreutvikle kunnskapsgrunnlaget for dette. Det gjelder hva som skal til for at Norge kan sies å være et lavutslippssamfunn, hvilke omstillinger dette krever og hvilke tiltak og virkemidler på kort og mellomlang sikt som bør vurderes. Dette vil være ledd i det videre arbeidet med norsk utslippsforpliktelse, forsterking av klimaforliket og det generelle arbeidet med klimapolitikken.

Departementet ser det derfor som hensiktsmessig at det videre arbeidet deles i to trinn. Departementet vil i dialog med Miljødirektoratet klargjøre hva som er nødvendige leveranser på kort sikt (september/oktober), og på lengre sikt.

Departementet ber Miljødirektoratet gjennomføre følgende analyser:

a) Norge som lavutslippssamfunn i 2050.

Miljødirektoratet bes om å gi en faglig vurdering av hvordan et lavutslippssamfunn bør defineres for Norge, i tråd med togradersmålet og hva den nyeste kunnskapen fra IPCC tilsier om gjennomsnittlig utslipp per person for verdens befolkning i 2050. I beskrivelsen av et lavutslippsnivå for Norge i 2050 skal det tas høyde for usikkerhet i anslag for utslippsnivå og mulig fleksibilitet, i form av intervaller eller lignende. Energi vil være en viktig del av denne vurderingen. Det skal gjøres vurderinger av hvordan opptak og binding av karbon i skog og andre arealer kan bidra til å nå lavutslippssamfunnet. Det skal videre beskrives overordnet hvilke konsekvenser for utslipp på sektornivå lavutslippssamfunnet kan gi for Norge. Analysen skal også gi grunnlag for å vurdere hvilke strukturelle endringer innen teknologi og infrastruktur som er nødvendige for å gi oss lavutslippssamfunnet, og hvilke tiltak og virkemidler som bør gjennomføres i dag, selv om de først vil gi utslippsreduksjoner på lengre sikt.

b) Utslippsbaner i tråd med lavutslippsnivå i 2050, avhengig av gjennomføring av klimaforliket

Utslippsbanen mot 2050 vil være avhengig av hvilket samlet utslipp Norge har i 2020. Jfr klimaforliket er det et mål å redusere norske utslipp med 15-17 mill tonn i 2020, noe som vil gi et samlet utslippsnivå på 47 mill tonn CO₂-ekvivalenter når skog er holdt utenfor. Som del av oppdraget bes Miljødirektoratet om å legge fram to utslippsbaner for 2025, 2030 og fram til 2050. Det er ønskelig med en framstilling basert på at klimaforlikets nasjonale mål fram til 2020 oppfylles, dvs der Norges utslipp ligger på 47 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Utslippsbanene må baseres på den mest oppdaterte utslippsframskrivningen for Norge som utvikles i forbindelse med nasjonalbudsjettet for 2015. (dvs gitt effekt av dagens virkemidler).

c) Analyse av ulike ambisjonsnivåer for 2025 og 2030. - Kostnader og konsekvenser.

Miljødirektoratet skal gi en overordnet analyse av mulige utslippsnivåer for Norge fram mot 2025 og 2030 som er konsistent med utslippsbaner mot lavutslippssamfunnet, slik det er beskrevet over. Miljødirektoratet bes om å redegjøre for hvilke forskjeller det vil være mellom de to utslippsbanene beskrevet under punkt b, med ulike utslippsnivåer i 2020, med hensyn til tiltaksmuligheter og kostnader for perioden etter 2020. Analysen skal bygge på tilgjengelig og oppdatert informasjon. Forutsetninger for analyser innen transport bør så langt det er mulig være konsistent med forutsetninger som legges til grunn i transportetatens arbeid med Nasjonal transportplan. I retningslinjene til Nasjonal transportplan legges det til grunn at det i de ulike analysene skal belyses hva som kreves for å oppnå målet om omstilling til et lavutslippssamfunn innen 2050 der det er relevant. Jf. retningslinjene forutsettes det at transportetatene og Avinor deltar aktivt inn i Miljødirektoratets arbeid.

I scenarioet hvor klimaforlikets nasjonale mål ikke oppfylles skal det redegjøres for hvilke framtidige utslipp Norge da risikerer å være låst til og kostnader ved å redusere disse på et senere tidspunkt.

Analysene skal så langt det er mulig utarbeide oppdaterte kostnadsanslag. Kostnadsbeskrivelser skal klargjøre om det er snakk om direkte tiltakskostnader eller budsjettimplikasjoner. Der det er hensiktsmessig skal Miljødirektoratet invitere relevante etater til samarbeid om analysene, og vurdere bruk av annen ekstern ekspertise. Det bes om at det gjøres analyser ved hjelp av modeller. Det skal klargjøres hva som er usikkerhet i kostnads- og tiltaksinformasjon og hvilke antagelser og forutsetninger som ligger til grunn for modelleringsarbeidet.

d) Langsiktig omstilling

Basert på vurderingen gjort i punkt a) om Norge som lavutslippssamfunn bes Miljødirektoratet om å gjøre en utdypende analyse av hvilke virkemidler og mulige tiltak som kan bidra til å komme til dette utslippsnivået. Analysen skal bygge på utslippsbanene beskrevet under punkt c, beskrevet sektorvis og på et overordnet nivå.

Denne delen av analysen skal særlig belyse hvilke virkemidler og strategiske grep som er aktuelle fram til 2025 og 2030, og som vil kunne utløse omstillinger til lavutslippsutvikling fram til 2050.

Frist

For at vurderingen av utslippsutvikling og tiltaksområder skal kunne brukes som grunnlag for vurdering av mulig ambisjonsnivå for Norge etter 2020, ber departementet om en første leveranse innen 30. september 2014. Dette gjelder punkt 2 a, b og c over.

Miljødirektoratet vil bli orientert om framdriftsplanen for arbeidet med å utforme ny utslippsforpliktelse for Norge og vil, ved behov, bli bedt om å bidra til faglige gjennomganger for departementet underveis.

Endelig rapportering for arbeidet under fase 2, inkludert på 2d, settes til 15. februar 2015. Foreløpige leveranser avtales nærmere med Miljødirektoratet underveis.

Omfang og elementer leveransene avklares nærmere i samråd med departementet i lys av framdriften arbeidet med ny norsk klimaforpliktelse.

Vedlegg 2. Grunnlag for framskrivingene

Nasjonal framskriving av utslipp til luft ble sist publisert i Perspektivmeldingen 2013 for årene 2020 og 2030 for de seks klimagassene og NO_x, NMVOC, SO₂, og NH₃. Framskrivinga i PM2013 ble laget av Finansdepartementet (FIN) i samarbeid med blant andre Miljødirektoratet. Det er denne framskrivinga inkludert justerte framskrivinger for jordbruket som framskrivinga som benyttes i denne rapporten bygger på.

Framskrivinga blir laget for økonomisk sektorer ved bruk av makromodellen MSG. Dette er en økonomisk likevektsmodell. Utslippsmodellen er en sidemodell til MSG. I framskrivinga er inkludert effekten av vedtatt politikk. Det vil si effekten av tiltak og virkemiddel som var vedtatt fram til meldinga ble lagt fram. Det skal i prinsippet bety effekten av politikk vedtatt til og med Nasjonalbudsjettet for 2012. Det er viktig å være klar over at framskrivinga uttrykker ikke regjeringens mål med miljøpolitikken. Framskrivinga fanger dermed ikke opp effekten av endret virkemiddelbruk i årene som kommer.

Framskrivinga som er brukt i sektoranalysene er på såkalte tekniske utslippskilder, som er formatet i SSBs årlige utslippsstatistikk. Miljødirektoratet har konvertert framskrivinga i PM2013 til tekniske utslippskilder og er dermed ansvarlig for framskrivinga som blir brukt i rapporten. Framskrivinga i rapporten bygger på PM2013, men er korrigert for jordbruk på grunn av metodeendringer i regnskapet for jordbruk som er gjort etter at PM2013 ble lagt fram. Resultatet av denne endringen er at utslippet i 2030 er om lag 0,1 millioner tonn CO₂ ekvivalenter høyere enn PM2013. I 2020 er korrigert utslipp marginalt endret.

Tabell V2.1 viser hvilke tiltak og virkemidler som er inkludert i framskrivinga.

Tabell V2-0-1 Tiltak og virkemiddel som er inkludert i framskrivinga.

	Virkemiddel og tiltak i referansebanen
Generelt	Dagens klimapolitikk videreføres inkludert omfang og satser for CO ₂ - avgiften. Kvoteprisen i EUs kvotesystem antas i framskrivinga å stige til 100 kroner per tonn i 2020. Etter 2020 er det lagt til grunn at kvoter i EUs kvotesystem stiger reelt med 4 % per år.
Veitrafikk	
Personbiler	Engangsavgifta på personbiler fra 1.1.07. 70 % av førstegangsregistrerte personbiler har i framskrivinga dieseldrevet motor. Dette gir 110 g CO ₂ /km som gjennomsnitt for alle nye personbiler med fossilt drivstoff. Ytterligere reduksjon fram mot 2030 er liten.
Avgasskrav alle biler	Alle avgasskrav til og med euroklasse 6 som kommer fram mot 2014. Dette betyr at i framskrivinga vil det aller meste av trafikkarbeidet i 2030 bli utført med biler som tilfredsstiller euroklasse 6.
Biodrivstoff	Bensin: 0,6 % bioetanol. Diesel: 5,6 % biodiesel. Det er bare for CO ₂ det er lagt inn effekt av biodrivstoff.

	Det vil si at for alle andre komponenter enn CO ₂ er utslippsfaktoren for biodrivstoff den samme som for fossil bensin og diesel.
Elektriske biler	Antall elbiler i framskrivinga er anslått til om lag 20.000 i 2020 og 30.000 i 2030.
Varme- og kraftvarmeverk	CO ₂ -fangst fra og med 2020.
Energibruk	
Generelt	Økonomiske stønadsordninger for å effektivisere bruken av energi og øke bruken av fornybar energi. Det er lagt inn mer effektiv bruk av energi i framskrivinga. Dette innebærer at effekten av økonomiske stønadsordninger indirekte kan være inkludert i framskrivinga, gjennom redusert vekst i klimagassutslippene fra energiproduksjon og -forbruk.
Boliger	Basert på eksisterende virkemidler er det gått ut fra samme trendutvikling for forbruket av fyringsoljeprodukt framover som historisk. Det vil si at effekten er om lag den samme som å fase ut all bruk av oljeprodukt i husholdningene framover mot 2030.
Tjenesteytende næringer	Trendutvikling som innebærer utslipp fra fossile energivarer omtrent som i dag.
Olje- og gassutvinning	RNB2012 for CO ₂ , NO _x , NMVOC, CH ₄ er lagt til grunn for framskrivinga.
Industri	
Kraftkrevende industri	Uendra forbruk av elektrisitet i kraftkrevende industri.
Salpetersyreproduksjon - utslepp av N ₂ O	Produksjon: 0,1 % vekst per år i gjennomsnitt for åra 2011-2030. Spesifikt utslipp som i 2011 er holdt konstant på 0,56 kg N ₂ O per tonn HNO ₃ .
Aluminiumproduksjon	Produksjon: 0,2 % vekst per år i gjennomsnitt fram mot 2030. PFK: utslipp per produsert tonn aluminium som i 2011.
Jordbruk - CH ₄ og N ₂ O	Framskrivninga i PM2013 er basert på regnskapet per februar 2012. Metodeendring per februar 2013 har endra trenden og heva nivået i regnskapet. Framskrivninga for jordbruk som benyttes i denne rapporten er basert på den nye metoden for utslippsregnskapet, men med samme forutsetninger som i PM2013.
Metan fra avfallsdeponi	Forbudet mot å deponere avfall fra 1.7.2009 er inkludert i framskrivinga. Fra og med 2015 er det lagt til grunn at 100 000 tonn avfall (mat, papir, trevirke, tekstiler) blir deponert. Uttaket er satt til maks 25 % av produsert metan. Dette tilsvarer andelen som ble tatt ut i 2010. I 2012 var andelen 20 %.

I tillegg til framskrivinga som er publisert i PM2013 presenteres det i rapporten en utslippsbane fram mot 2050. Referansebanen for 2050 som presenteres i rapporten er Miljødirektoratets ansvar. Det antas her at eksisterende virkemiddelbruk blir opprettholdt.

Vedlegg 3. CO₂-fangst og lagring

CO₂-fangst og lagring (CCS) er en sentral teknologi i mange analyser av hvordan togradersmålet skal nås. Teknologien kan redusere utslippene fra fossil energiproduksjon og fra utslippsintensiv industri som sement-, metall- og kjemikalieproduksjon. CCS gjør det mulig og fortsatt benytte de fossile ressursene i et lavutslippssamfunn. Samtidig kan CCS redusere prosessutslipp fra for eksempel sementindustri hvor det per i dag ikke finnes tilgjengelige alternative teknologier for å fjerne utslipp.

Tilgjengeligheten av CCS som teknologi er den enkeltfaktoren som påvirker kostnadene ved å nå klimamålene mest i de fleste scenarioene i FN klimapanelers femte hovedrapport (IPCC, 2014). Selv om enkelte studier har vist at full utnyttelse av energieffektiviseringspotensialet kombinert med fornybarsatsing muliggjør et togradersmål uten bruk av CCS eller kjernekraft, viser rapporten at de diskonterte kostnadene ved å oppnå et togradersmål vil øke med mellom 30 prosent og 300 prosent dersom man ikke har tilgang til CCS.

Bruk av CCS på utslipp fra forbrenning av biomasse spiller også en viktig rolle i mange scenarioer i rapporten fordi det fjerner CO₂ fra atmosfæren. I et stort antall av scenariene som er i tråd med togradersmålet er verdens netto utslipp negative i andre halvdel av dette århundret. Bruk av teknologier som fjerner CO₂ fra atmosfæren er spesielt viktig dersom ikke verdens utslipp reduseres raskt.

IPCC legger til grunn at CCS vil utløses i de viktigste industrigrenene ved en CO₂-pris på 50–150 USD per tonn. I de fleste lavutslippsscenarioene er kraftsektoren avkarbonisert rundt 2050, med en CO₂-pris på 100–150 USD per tonn. En signifikant andel av kraftproduksjonen er i disse scenarioene fossile kraftverk med CCS. Bruk av CCS er energikrevende, og et kullkraftverk med etterforbrenningsfangst vil anslagsvis bruke 11–40 prosent av energien til å drive CCS-anlegget.

CCS som teknologiløsning for Norge

Norge har til forskjell fra mange andre land spesielt gode forutsetninger for lagring av CO₂, og Oljedirektoratet (OD, 2014) har beregnet lagringskapasiteten på norsk sokkel til å være mer enn 80 milliarder tonn CO₂. CO₂-håndtering har lenge vært et satsingsområde i Norge, og norske forskningsmiljøer og næringsaktører er derfor i dag blant de fremste i verden (Energi21, 2014). Store muligheter for lagring av CO₂ på norsk sokkel og erfaring med CO₂-injeksjon på Sleipner og Snøhvit, sammen med norske aktørers kompetanse på transport av LNG gir Norge et komparativt fortrinn. Det sistnevnte er viktig da analyser viser at hovedandelen av potensielle norske CCS-prosjekter vil gi lavere kostnad ved skipning av CO₂ enn ved transport i rørledning (NORDICCS). Dette gir muligheter for norsk maritim sektor som er godt rustet til å ta posisjoner innen transport av flytende CO₂.

Sammenlignet med mange andre land kommer en større andel av klimagassutslippene i Norge fra prosessutslipp fra industri som aluminium, sement og ferrolegeringer. CCS i industrisektoren kan derfor bli en nøkkelteknologi for å redusere Norges klimagassutslipp på lang sikt.

Status på CCS per i dag

IEA beskriver i *Technology Roadmap Carbon Capture and Storage* (IEA, 2013a), at dette tiåret er kritisk for at CCS skal få det omfanget i 2050 som de forutsetter i sitt togradersscenario. De anbefaler at regjeringer og industrien bør få på plass minst 30 fullskala prosjekter fordelt på forskjellige typer anlegg og sektorer innen 2020.

Per i dag er det ifølge Global CCS Institute (GCCSI) (Global CCS institute, 2014) 12 fullskala CCS-prosjekter som er operative, hovedsakelig innen gassprosessering. Ytterligere 9 er under bygging og 39 prosjekter er i ulike planleggingsfaser. Over to tredjedeler av prosjektene som er operative, under bygging eller som trolig gjør investeringsbeslutning i løpet av 2014 har til hensikt å bruke fanget CO₂ til økt oljeutvinning (EOR).

I løpet av 2014 vil etter planen de to første kommersielle fullskala CCS-anleggene på kraftproduksjon i verden settes i drift, i henholdsvis Canada og USA.⁶¹ I tillegg til fullskalaprojekter, eksisterer det i dag omtrent 60 pilotprosjekter. Enkelte av disse pilotprosjektene er innenfor industrisektorer som produksjon av ammoniakk, metanol, ferrolegeringer og sement (IEA, 2014b).

Teknologibeskrivelse

Det er i dag tre hovedgrupper teknologier for fangst av CO₂ (IPCC, 2014):

1. **Etterforbrenning (post-combustion):** CO₂ skilles ut fra røygassen. Fangstanlegget behandler røygassen fra prosessen og er atskilt fra selve anlegget.
2. **Førforbrenning (pre-combustion):** CO₂ fanges fra brenselet før forbrenning i kraftverket. Brenselet kan være kull som forgasses eller naturgass som reformeres til syntesegass (H₂, CO₂/CO). CO₂ fanges før det hydrogenrike brenselet brennes i en gassturbin. Fangstanlegget blir her en del av prosessen.
3. **Oxy-fuel:** Naturgass eller kull brennes med rent oksygen. Røygassen vil dermed inneholde kun CO₂ og vanndamp, noe som gjør at fangstanlegget kan bygges mye mindre og enklere. Oksygenet må imidlertid separeres fra luft i et eget kraftkrevende anlegg.

Transport av CO₂ regnes som den enkleste biten av CCS-kjeden. Transporten kan gjøres enten med rørledninger eller skip. Det er i dag over 6 300 km med rørledninger i USA som frakter CO₂, og det eksisterer derfor mye kunnskap om dette. Det er imidlertid noen kunnskapshull knyttet til å integrere mange CO₂ kilder i et større system. I designet av rørsystemer må man også ta hensyn til eventuelle urenheter i gassen, som kan påvirke integriteten til rørsystemet og egenskapene til gasstrømmen. Skipstransport av CO₂ foregår i dag for å frakte CO₂ som skal brukes i for eksempel næringsmiddelindustrien. CO₂ blir da gjort flytende før frakt ved en kombinasjon av trykksetting og nedkjøling.

Når CO₂ lagres i velegnede geologiske formasjoner er det flere faktorer som gjør at det vanskelig slipper ut. Det ene er at man lagrer under et tett geologisk lag, som hindrer CO₂ i å migrere oppover. Videre vil CO₂ gradvis løse seg i porevannet. Porevann med høyt innhold av CO₂ blir tyngre, og vil langsomt synke i formasjonen. Kjemiske reaksjoner mellom CO₂ løst i vann og mineralene i reservoaret vil over lang tid gjøre at CO₂ blir bundet som karbonatmineraler (IPCC, 2005). Når CO₂ lagres offshore på dyp under ca. 800 m under havoverflaten er trykket så høyt av CO₂ holder seg flytende, dette bidrar til at lagret CO₂ tar mindre plass, og til at det er liten fare for at gassen siver opp til overflaten (Gassnova, 2014).

IPCCs spesialrapport om CCS (IPCC, 2005) skriver at mengden CO₂ som holdes igjen i et godt utvalgt og godt drevet reservoar svært sannsynlig vil være mer enn 99 prosent over en hundreårsperiode. Torvanger et. al. (Torvanger, et al., 2012) har vurdert sannsynligheten for at lekkasjer av lagret CO₂ ved omfattende bruk av CCS vil kunne hindre muligheten for å nå togradersmålet, og konkluderer

⁶¹ Boundary Dam Integrated Carbon Capture and Sequestration Project i Canada, og Kemper County IGCC Project i USA

med at det er svært usannsynlig. Et prosjekt i EU-regi - Research into impacts and safety in CO₂ storage (RISCS) - har konkludert med at dersom lagringssteder velges med omhu vil ikke lekkasjer utgjøre noen vesentlig risiko, verken onshore eller offshore, for mennesker eller økosystemer (RISCS, 2014).

Forskjellige estimater eksisterer for tilgjengelig lagringskapasitet, IPPC (IPCC, 2014) viser til studier som sier at det teoretiske potensialet i verden er 35 000 milliarder tonn CO₂, det effektive potensialet 13 500 milliarder tonn CO₂, og det praktisk tilgjengelig potensialet er 3 900 milliarder tonn CO₂. Mengden CO₂ som må lagres i løpet av dette århundret spenner fra 448 til 1 000 milliarder tonn CO₂ i lavutslippsscenarioer som bruker CCS. Vurdert mot aktuelle regioner hvor CCS kan brukes konkluderer studien med at det er usannsynlig at lagringskapasitet blir den viktigste begrensningen for bruken av CCS i dette århundret.

Vedlegg 4. Hydrogen

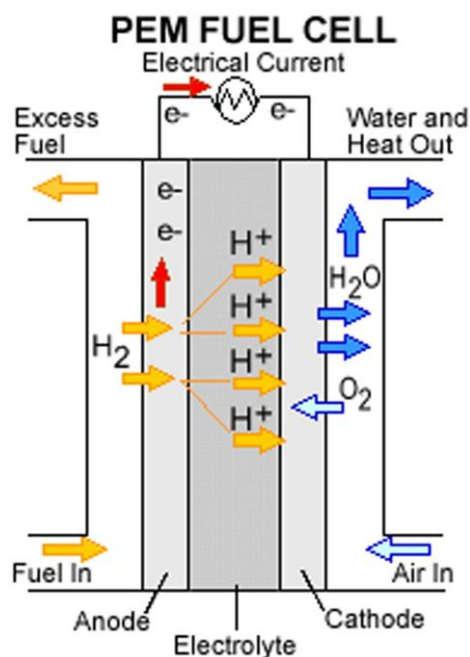
Hydrogen som energibærer

På grunn av økende behov for lagring av energi og alternative klimavennlige brenslere er produksjon og bruk av hydrogen blitt et satsningsområde i flere deler av verden. Hydrogen er aktuelt som alternativ energibærer spesielt i transportsektoren og som lagringsmedium for fornybar energi fra periodiske kilder som sol og vind.

Hydrogen kan produseres uten klimagassutslipp ved elektrolyse av vann med strøm fra fornybare kilder. Hydrogen vil på lengre sikt kanskje også produseres i store anlegg fra fossile kilder i produksjonsanlegg med CO₂-fangst og -lagring (IEA, 2006). Energien i hydrogenet kan konverteres til elektrisitet og varme i brenselceller der det eneste utslippet er vann. Hydrogen kan også forbrennes eller benyttes i industrielle prosesser.

Flere land har i dag hydrogenbiler på veiene og bilprodusentene har kommet på banen. Hyundai begynte å serieprodusere hydrogenbiler i februar 2013. Honda kommer med en ny hydrogenbil i 2015.

Brenselceller



Kilde: (NIST, 2014).

En brenselcelle konverterer kjemisk energi til elektrisk energi direkte i en kjemisk prosess uten normal forbrenning. Med hydrogen og luft som drivstoff får man elektrisitet, varme og vann som produkt.

Elektronene som frigis i den kjemiske prosessen gir strøm som kan brukes f.eks. i en el-motor i en bil, og varmen som produseres, kan også utnyttes.

I mobile enheter som biler er det vanligste å bruke brenselceller med protonledende membran (PEM). Disse brenselcellene har en praktisk virkningsgrad på 40-60 % per i dag. Teoretisk virkningsgrad for disse cellene er 83 %.

For stasjonære formål som kombinerte kraft- og varmeanheter brukes "phosphoric acid" brenselceller (PAFC) og "molten carbonate" brenselceller (MCFC) med en virkningsgrad på ca. 40 %.

Hydrogenproduksjon ved elektrolyse kan øke fleksibiliteten i energisystemer ved at produksjonen er koblet til periodiske fornybare kilder og startes opp når det er overskudd i kraftnettet. Hydrogenet som produseres er egnet som energibærer fordi det kan erstatte fossile energikilder i de fleste sektorer. I transportsektoren kan hydrogen brukes i brenselceller til å drive el-motorer i biler. Hydrogen som drivstoff i biler har noen fordeler som; ingen CO₂-utslipp, rask fylling, lang rekkevidde, kan brukes i tunge kjøretøy og mulighet for lokal produksjon av drivstoff. Hydrogen kan brukes sammen med CO₂ fanget fra industri til å lage metan som kan erstatte bruk av fossil

naturgass i industrien. På den måten kan CO₂ "resirkuleres". Hydrogen kan også i enkelte tilfeller brukes direkte i industriprosesser som beskrevet i kapittel 4.2. Dersom hydrogen benyttes i større grad i industrien vil hydrogen kunne bli billigere og lettere tilgjengelig for annet bruk for eksempel til transport og vice versa.

En fordel med hydrogen som energibærer er at den kan produseres både sentralt og lokalt. Over korte avstander er det mest kostnadseffektivt å frakte hydrogen i rør, men over lengre distanser er det bedre å frakte flytende hydrogen i partier. Der det allerede er bygd ut gassnett for distribusjon av naturgass er det også potensiale for distribusjon av hydrogen ved at man kan blande inn rundt 20 prosent hydrogen i naturgassen. Gasskvalitetsstandarder og kvaliteten på gassnettet setter begrensninger for andel hydrogen som kan blandes inn (IPCC, 2014).

Selv om en del teknologi for produksjon og bruk av hydrogen allerede er etablert, gjenstår flere store utfordringer. Blant annet når det gjelder lagring av hydrogenet. Dette er utfordrende fordi hydrogen har høyt volum per energienhet. Dagens infrastruktur er begrenset eller manglende og må bygges ut kraftig for å kunne gi en stor økning i bruk av hydrogen. Foreløpig er heller ikke hydrogen konkurransedyktig økonomisk. Sammenlignet med direkte bruk av elektrisitet har hydrogen lavere effektivitet, og hydrogenteknologien må derfor utvikle hydrogenets fordeler for å veie opp for dette.

Teknologi for produksjon

Hydrogen er produsert i industriell skala siden 1920-tallet og det eksisterer flere etablerte teknologier for hydrogenproduksjon. Hydrogen kan lages fra fossile eller biologiske hydrokarboner og ved elektrolyse av vann. Flere av metodene gir utslipp av CO₂ som vil måtte deponeres for å unngå klimagassutslipp. Det forskes både på ulike elektrolysemetoder og på alternative metoder for å lage hydrogen uten fossile utslipp, blant annet biologiske metoder for nedbrytning av ulike brensel.

Elektrolyse

Elektrolyse er bruk av en ytre strømkilde for å få en kjemisk reaksjon til å gå. Elektrolyse av vann splitter vannmolekyler til hydrogen og oksygen. Ved produksjon av hydrogen ved elektrolyse av vann forbrukes store mengder ferskvann og prosessen er kraftkrevende. For å produsere 1 kg H₂ ved elektrolyse trenger man ca. 50–80 kWh. Fordelen med elektrolyse er at man kan produsere hydrogen uten direkte utslipp med kraft fra fornybare kilder.

Både distribuert og sentralisert hydrogenproduksjon ved elektrolyse er etablert i dag. Ved produksjon av hydrogen ved elektrolyse i mindre skala kan anlegget starte og stoppe nesten umiddelbart. Dette gjør at man kan produsere hydrogen med elektrisitet fra overskuddsvind eller sol. Hydrogenet produseres altså i de tidsrommene det er tilgjengelig elektrisitet. Kort oppstartstid for produksjon av hydrogen ved elektrolyse kan også være en fordel for bruk i industriprosesser fordi bedriften da kun trenger å produsere det den til enhver til skal bruke.

Tabell V4-0-1 Elektrolysemetoder. Kilde: Umwelt Bundesamt, 2014.

Elektrolysemetoder	
Alkalisk elektrolyse (AEL)	Benyttes i dag. Virkningsgrad 50-70 %
Polymer elektrolytt elektrolyse (PEMEL)	Benyttes i liten skala i dag. Virkningsgrad opptil 95 %
Høytemperaturelektrolyse (HTEL)	Under utvikling. Antas å ha høy virkningsgrad -90 %)

Produksjon basert på hydrokarboner med CCS

Hydrogen kan også produseres fra hydrokarboner som naturgass, kull eller biomasse. Det vanligste i dag er å lage hydrogen fra naturgass ved dampreforming. Virkningsgrad for produksjon av hydrogen fra metan er ca. 70 prosent.

Både ved produksjon fra fossile og biologiske kilder vil CO₂ være et biprodukt fra hydrogenproduksjon basert på hydrokarboner. Dersom hydrogen skal produseres fra fossile hydrokarboner må denne CO₂-en fanges og lagres eller nyttegjøres på andre måter for å unngå klimagassutslipp.

Alternativ hydrogenproduksjon

Det forskes på flere alternative metoder for hydrogenproduksjon fra fornybare kilder. Blant disse er termiske og fotolytiske metoder. Av termiske metoder kan det nevnes reformering av biodrivstoff, gasifisering av biomasse og høytemperatur vannspalting. Fotolytiske metoder inkluderer fotobiologisk vannspalting og fotoelektrokjemisk vannspalting. Fotobiologisk vannspalting er en prosess der hydrogen produseres fra vann ved hjelp av sollys og spesialiserte mikroorganismer, som grønne alger og cyanobakterier. Mikroorganismene spiser vann og produserer hydrogen som en del av sin naturlige metabolisme, på samme måte som planter produserer oksygen ved fotosyntese (IEA, 2006).

Omfang og utvikling internasjonalt

Det kan se ut som at hydrogen kan få et nytt løft de nærmeste årene etter at blant annet EU, flere europeiske land og USA har programmer for forskning og utbygging av infrastruktur for hydrogen. I tillegg til å benytte hydrogen til transport kan hydrogen bli viktig som lagringsmedium for energi fra fornybare kilder som sol og vind.

Særlig i USA og Japan, men også i EU, er forsyningssikkerhet og en økende importavhengighet av energi en viktig begrunnelse for hydrogensatsingen. Med hydrogen som energibærer, vil nasjonale energikilder kunne utnyttes i større grad og redusere denne avhengigheten (NOU 2004: 11, 2004).

EU har i 2014 kommet med et direktiv (Clean Power for Transport (CPT) Directive) om utbygging av infrastruktur for alternative brensel. Direktivet fastsetter krav til minimum infrastruktur i medlemslandene og tekniske spesifikasjoner for bygging av fyllpunkter for hydrogen. Flere europeiske land har også betydelige nasjonale prosjekter innen hydrogenteknologi.

Gjennom *The American Recovery and Reinvestment Act of 2009* (US Recovery Act, 2009) har energidepartementet i USA investert \$ 41.6 million for å fremme kommersialisering og bruk av brenselceller, med mål om å bygge opp en robust brenselcelleindustri i USA.

Fra å ha hatt hovedfokus på forskning har nå altså flere land pilotprosjekter og begynner å bygge ut infrastruktur. Prosjektene er markedsrettet, med fokus på å få i gang markedet for hydrogenteknologi. Flere land har et begrenset antall hydrogenbiler på veiene og blant annet i Japan brukes hydrogen i stasjonære enheter for kombinert kraft- og varmeproduksjon.

Produksjon og bruk av hydrogen i Norge

I Norge, hvor vi har betydelige fornybare kraftressurser, vil direkte bruk av elektrisitet antageligvis foretrekkes i de fleste tilfeller der man skal erstatte fossile kilder, ettersom det gir den høyeste energiutnyttelsen. Dette kan bety at hydrogen kan få en relativt mindre rolle i Norge enn i andres land. Hydrogen vil likevel være aktuelt for å redusere utslipp fra tungtransport og industri der det ikke alltid er mulig å bruke elektrisitet direkte.

Ved betydelig satsning på hydrogenteknologi og utbygging av infrastruktur i Europa vil Norge måtte tilpasse seg og bygge tilstrekkelig infrastruktur for bruk av hydrogen. Flere land i Europa og resten av verden ser hydrogen som en del av sitt framtidige energisystem og en løsning for et mer klimavennlig samfunn.

Norge har lange tradisjoner for produksjon av hydrogen og tilnærmet alt som produseres brukes i industrien. For eksempel benyttes i hydrogen i ammoniakkproduksjon. Norge har høy kompetanse innenfor en rekke hydrogenteknologier. Det er gjennomført demonstrasjonsprosjekter for å prøve ut nye hydrogenteknologier. I tillegg blir norske hydrogenrelaterte produkter, som for eksempel ammoniakk brukt i kunstgjødsel, solgt på verdensbasis (NOU 2004: 11, 2004).

Innen transportsektoren finnes det prosjekter på teknologiutvikling for bruk av hydrogen. Blant annet er det utarbeidet en strategi for tidlig innfasing av hydrogendrivstoff i Oslo og Akershus for 2014-2025 (Akershus fylkeskommune, 2014). HyNor er et nasjonalt utviklingsprosjekt for å fremme utnyttningen av hydrogen i norsk transportsektor. HyNor-prosjektet jobber nå for utbygging av hydrogen fyllestasjoner i Oslo-området som et ledd i å kommersialisere hydrogenteknologi for transport. (hynor.no) Per i dag er 5 fyllestasjoner i drift.

Norges erfaring med hydrogenproduksjon i industrien kan bli viktig de neste tiårene, forutsatt videre forskning og utviklingsarbeid på området. Her kan man se for seg at hydrogen produsert fra med fornybar kraft kan bli en eksportvare til andre europeiske land. Etterspørselen etter hydrogen antas å øke dersom infrastrukturen bygges ut for overgang til en mindre fossilavhengig transportsektor som det i EU nå legges opp til.

Hydrogen kan produseres ved desentraliserte kilder. Ved å satse på hydrogenproduksjon fra sol- og vindkraft til elektrolyse eller fra fossile kilder med CCS kan man utnytte en kombinasjon av flere teknologier Norge er gode på. Både eksport av teknologi for produksjon av hydrogen og salg av hydrogen produsert i Norge kan være aktuelle næringsmuligheter.

Hydrogenproduksjon ved elektrolyse er kraftkrevende og en eventuell satsning på slik hydrogenproduksjon i Norge vil gi et betydelig behov for fornybar kraft og må derfor sees i sammenheng med Norges totale kraftressurser.

Hydrogenrådet

Hydrogenrådet er et ekspertpanel oppnevnt av Olje- og Energidepartementet og Samferdselsdepartementet, bestående av representanter fra næringsliv, forskning, utdanning og organisasjoner. Hydrogenrådet skal gi strategiske råd til departementene.

Hydrogenrådet har i sin handlingsplan for 2012–2015 identifisert tre hovedområder der Norge vil kunne spille en sentral rolle:

- Teknologileverandør til det fremvoksende markedet for hydrogenteknologi.
- Tidlig marked for hydrogenkjøretøy basert på verdens beste incentivordninger.
- Eksportør av hydrogen i et 2020-2030-perspektiv.

Vedlegg 5. Solenergi

Elektrisitet forventes å bli en viktigere del av det globale energisystemet i et lavutslippssamfunn. Mot 2050 forventes solenergi å være en betydelig bidragsyter til verdens energiforsyning, og IEA anser solenergi som en av de viktigste kildene i verdens elektrisitetsforsyning i sine lavutslippsscenarioer mot 2050 (IEA, 2014b). Globalt har utnyttelse av solenergi vært i kraftig vekst de siste årene, og elektrisitet fra solceller har gått fra å dekke et nisjebehov til å bli en betydelig faktor i energimarkedene i flere land. Kostnadene er på vei ned og i flere land er strøm fra solcellepanel nå konkurransedyktig på pris uten støtteordninger, sett fra sluttbruker.

Installert solcellekapasitet globalt har vært i en kraftig vekst de siste årene, og veksten har vært hurtigere enn hva selv optimistiske prognoser tilsa. Særlig de siste fire årene har det vært stor vekst i installert kapasitet. Global akkumulert kapasitet var ved utgangen av 2013 nærmere 140 GW, en kapasitet som kan produsere minst 160 TWh elektrisitet årlig ifølge European Photovoltaic Industry Association (EPIA, 2014).

Kina var det enkeltlandet i verden med størst økning i installert kapasitet i 2013 etterfulgt av Japan og USA. Økningen har i stor grad vært drevet av virkemidler som feed-in tariff med lang tidshorison og gratis nettilknytning for små og mellomstore anlegg (Forbes.com, 2014). Det ventes en jevn vekst i den globale etterspørselen etter solceller framover. Den hurtigste veksten ventes å komme særlig i Kina og sør-øst Asia etterfulgt av Latin Amerika, Midtøsten og India. EPIA anslår at i de 66 landene som ligger innenfor 35° fra ekvator ("sunbelt countries") er potensialet for solceller i størrelsesorden 260 GW til 1100 GW mot 2030. I disse områdene er solceller allerede konkurransedyktig uten støtteordninger mot diesel aggregater for el-produksjon.

I Europa, og spesielt Tyskland, har det de senere årene vært satset mye på å øke installert solcellekapasitet. I 2013 hadde Tyskland en årsproduksjon på ca. 30 TWh elektrisitet fra solceller, noe som utgjorde 5,7 prosent av elektrisitetsproduksjonen (Frauenhofer ISE, 2014). Til sammenlikning er midlere årsproduksjon i det norske vannkraftsystemet på 131 TWh (NVE, 2014c). Veksten av solcellekapasitet i Tyskland og andre europeiske land som Italia og Spania har vært drevet av gode støtteordninger, som feed-in tariff. Flere av disse ordningene har nå blitt revidert, og i 2013 falt årlig installasjonsrate i Europa som følge av politiske avgjørelser om å redusere disse incentivene.

På bakgrunn av den senere tids endringer i rammevilkår har EPIA justert ned sitt estimat for utviklingen for solceller i Europa. De anser det nå realistisk at mellom 7 prosent og 11 prosent av europeisk etterspørsel etter elektrisitet kan bli møtt med solceller i 2030 (ned fra estimat på 10–15 prosent i 2012), gitt at det ikke kommer betydelige endringer i rammevilkår.

Kostnader for produksjon av solcellemoduler har over flere tiår fulgt en trend med omtrent 20 prosent reduksjon for hver dobling av den akkumulerte produksjonen globalt. Trenden ventes å fortsette blant annet som følge av utvikling på å minimere materialbruk, ytterligere automatisering av produksjonen, og redusert energibruk. IEA (IEA, 2014a) mener at videre læring og stordriftsfordeler vil kunne bringe modulkostnadene ned til 0,4 USD/W (0,3 EUR/W) mot 2030. Spotprisen på det internasjonale markedet var i andre kvartal 2014 på 0,63 USD/W (0,48 EUR/W) ifølge Greentech Media (GTM, 2014).

Kinas vekst i produksjonskapasitet for solceller de siste årene har bidratt til at det internasjonale kostnadsnivået for moduler har falt kraftig og en påfølgende nedgang i produksjonsnivået i land som Tyskland og USA. Siden 2008 har Kina vært verdens største produsent av solcellemoduler, og siden 2011 har mer enn halvparten av den globale produksjonen skjedd i Kina.

Kostnader for selve solcellemodulen varierer lite internasjonalt, mens kostnad for hele *systemet* har stor lokal variasjon. Modulkostnaden utgjør i størrelsesorden 1/3 av kostandene for et anlegg, i tillegg kommer mekanisk og elektrisk utstyr, driftsovervåkningsutstyr og installasjonsarbeid. Den lokale solressursen vil selvsagt også være avgjørende for resulterende energipris. I tillegg spiller finansieringskostnad, levetid for anlegget, og degraderingsrate for modulen en rolle. Et viktig poeng for distribuert produksjon (f.eks. husholdninger) er at den totale energikostnaden forbrukeren opplever (elpris + nettleie + avgifter) er avgjørende for sammenlikning mot resulterende energipris fra eget solcelleanlegg. Høy utnyttelsesgrad av eget anlegg er gunstig, men et solcelleanlegg kan bare produsere når solressursene er tilstede. En forbruker er derfor normalt avhengig av tilknytning til nettet for å balansere produksjon og forbruk. Pris på levert energi er derfor også av betydning for økonomien i et distribuert anlegg.

Resulterende energipris for nye solcelleanlegg ventes å falle framover. U.S. Department of Energy under *The Sunshot Initiative* har som mål å oppnå 0,06 USD/kWh i 2020 (omtrent 36 øre/kWh) for stor-skala anlegg, ned fra dagens 0,11 USD/kWh (omtrent 66 øre/kWh) (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2014). Ifølge IEA (IEA, 2014a) vil flere faktorer ha betydning for utviklingen av omfang til solceller framover. Viktigst er ytterligere reduksjon av investeringskostnader, men også finansieringskostnad teller. Den store utfordringen til solceller er å levere energien til riktig tid og sted. Derfor vil muligheter for etterspørselskontroll, lagring av energi og ytterligere elektrifisering av sluttforbruket være avgjørende. Regulatoriske rammeverk som legger til rette for fleksibel produksjon vil også være viktig for videre utvikling. IEAs 2DS-scenario antar mer enn en halvering av LCOE både for små- og storskala solcellanlegg mot 2050.

Solenergi som teknologiløsning i Norge

Norge er en aktiv aktør i solcelleindustrien. Norges aktive posisjon springer i stor grad ut fra vår industrielle erfaringen fra silisiumproduksjon og annen prosessindustri, samt gode komparative fortrinn som elektrisk kraft, stor tilgjengelighet på kjølevann og gründerkompetanse. Industrien har i dag hovedsakelig et internasjonalt markedsfokus (Energi21, 2013).

Energi 21 sin rapport for 2014 oppgir at norske bedrifter i dag er leverandører av produkter og tjenester i store deler av verdikjeden til solcelleproduksjon, fra produksjon av silisium til installasjon og drift, selv om de største aktørene befinner seg oppstrøms i verdikjeden. I 2013 var det over 50 aktører som hadde hel eller delvis aktivitet inn mot solenergi, mer enn en dobling fra 2005.

Industrikonsern som Wacker Chemicals og Elkem produserer i dag silisium for bruk i solceller. Hovedsakelig produseres silisium av metallurgisk kvalitet, som siden videreføres i andre land for å få den renheten som trengs i solceller. Norge er likevel helt i front i produksjon av metallurgisk fremstilling av høyrent silisium for bruk i solceller. Elkems produksjonsanlegg i Kristiansand har idag et anlegg etablert utelukkende for leveranse til solcelleindustrien, og har en teknologi som produserer solcellesilisium ved bruk av en fjerdedel av energien til andre etablerte teknologier (Elkem.com).

Norske virksomheter er også inne i produksjonen av wafere, der solcellesilisium blir støpt og kuttet i tynne skifter. Til tross for at REC la ned sine to norske bedrifter for waferproduksjon i 2012,

produserer fortsatt bedriften Norsun i Årdal enkrystallinsk silisium til høyeffektive solceller for det internasjonale markedet. Norwegian Crystals startet også opp i REC Glomfjord sine gamle lokaler i 2013, og produserer i dag wafere (TU, 03.02.14). Også i andre deler av solcellemarkedet er norske bedrifter involvert, og har utviklet teknologier for blant annet oppgradering av kasserte solceller. Videre er det flere mindre selskaper som satser på underleveranser av diverse deler, materialer eller prosesser til solcelleproduksjon. Norske selskaper er også involvert i installasjonsprosjekter for solkraftverk i forskjellige deler av verden.

På forskning og forskning og utviklings-siden er det også en betydelig aktivitet, for eksempel det ble i perioden 2005- 2012 avlagt 28 doktorgrader innen solområdet, og i 2013 var det ytterligere 27 doktorgradskandidater under utdanning bare ved NTNU og IFE.

Vedlegg 6. Vedlegg til sektorkapittel 4.4

Transport

Tabell V6-0-1 Dagens virkemidler for å redusere klimagassutslipp fra veitrafikken.

Virkemiddel	Beskrivelse	Historisk utvikling
CO ₂ -avgift på mineralolje og bensin	CO ₂ - avgiftskomponent ved salg av drivstoff.	CO ₂ -avgift på mineralske produkter og bensin ble innført i 1991 og har økt gradvis fram til i dag.
Differensiering av engangsavgiften på personbiler	Vektlegging av CO ₂ -komponent ved fastsettelse av engangsavgiften.	I 1996 ble en stor omlegging av engangsavgiften ved kjøp av bil gjennomført der avgiften ble differensiert etter vekt, effekt og slagvolum. Engangsavgiften er siden 1998 gradvis blitt mer differensiert, og i 2007 ble det innført en komponent for CO ₂ -utslipp per kilometer som erstattet slagvolumkomponenten. Differensieringen av engangsavgiften har gjort biler med lave CO ₂ -utslipp billigere enn biler med høye utslipp. CO ₂ -komponentens andel av engangsavgiften ble økt i 2009 og 2010.
Økt bruk av biodrivstoff	Omsetningspåbud og helt/delvis fritak for veibruksavgift.	Omsetningspåbud på 2,5 volumprosent fra 2009 økt til 3,5 volumprosent i 2010. Bioetanol i blandinger der bensin utgjør hovedbestanddelen ilegges veibruksavgift på bensin. Annen bioetanol avgiftslegges ikke. Biodiesel ble ilagt halv veibruksavgift i 2010.
Tilskudd til ny teknologi og infrastruktur gjennom Transnova	Transnova gir støtte til prosjekter og tiltak som bidrar til å erstatte fossile drivstoff med alternative drivstoff eller energibærere som gir lavere eller ingen CO ₂ -utslipp. Transnova støtter også prosjekter og tiltak som bidrar til overgang til mer miljøvennlige transportformer og til å redusere det totale transportomfanget. Prosjektene som støttes skal i hovedsak være i en pilot-/demonstrasjonsfase, redusere ulike typer løsningsbarrierer og bidra til læring, erfaringsoverføring og kompetansebygging.	Transnova ble etablert i 2009 og fikk da tildelt 100 millioner kroner. I 2010 var bevilgningen på 50 millioner kr, i 2011 på 72 millioner kroner og i 2012 på 75 millioner kroner. I 2014 er støtten på 99,6 millioner kroner.
Stimulere salg av el- og hydrogenbiler	Fritak engangsavgift, fritak merverdiavgift, tilgang til kollektivfelt, fritak årsavgift, fri passering i bomringene, gratis parkering, gratis ferje, halvert firmabilbeskatning og de kan lade gratis på offentlige ladestasjoner.	De ulike virkemidlene er innført gradvis i perioden 1990-2010.
Krav til lavt CO ₂ -utslipp fra nye personbiler (Initieres fra EU, Norge har ingen påvirkningskraft i forhold	Krav til bilprodusenter om at gjennomsnittlige utslipp fra nye personbiler skal være lavere enn 130 g/km	1995: EU setter mål om å redusere utslipp av CO ₂ fra nye biler til 120 g/km innen 2012. Basert på frivillige avtaler med bilindustrien. 2007: Kommisjonen vedtok et forslag til krav

til dette virkemiddelet)	innen 2015, og lavere enn 95 g/km i 2021	om å redusere gjennomsnittlige CO ₂ -utslipp fra nyregistrerte personbiler til 130 g/km med motortekniske tiltak innen 2012. 2009: Forordningen ble vedtatt av EU-parlamentet og Rådet. På bakgrunn av de sterke reaksjonene forslaget skapte, ble det inngått et kompromiss mellom EP og Rådet om at det nye kravet til reduksjon av CO ₂ -utslipp fra biler, som skal skje ved hjelp av kjøretøYTEkniske tiltak blir gradvis innfasert fra 2012 til 2015. I november 2013 inngitt EU Parlamentet og medlemslandene et kompromiss om at utslippskravet på 95 g/km skulle fases inn ved at 95 % av bilparken skal innfri kravet i 2020, og de resterende 5% innen 2021. I tillegg får bilprodusentene utvidet adgang til å redusere sine utslippstall ved å bruke superkreditter, dvs at bilene med lavest utslipp gir større uttelling i utslippsregnskapet.
Tilskudd til investeringer og drift av kollektivtilbudet fra sentrale og lokale myndigheter	Sikre et effektivt og miljøvennlig transporttilbud i byområdene	Varierende grad av tilskudd i perioden 1990-2014 avhengig av prioriteringer fra lokale og sentrale myndigheter. Økt satsing på kollektivtransport er et sentralt forhandlingspunkt i bymiljøavtalene. Det er fylkeskommunene som har myndighet til å sette miljøkrav i de offentlige anskaffelsene knyttet til kjøp av kollektivtransporttjenester.
Tilskudd til drift og investering i sykkelveinettet fra sentrale og lokale myndigheter	Sikre et effektivt og sikkert sykkelveinett for å gjøre det mer attraktivt å sykle framfor å kjøre personbil.	Varierende grad av tilskudd i perioden 1990-2014 avhengig av prioriteringer fra sentrale og lokale myndigheter. I forbindelse med bymiljøavtalene er det satt av midler til økt satsing på sykkelveinett.
Samordnet areal- og transportpolitikk	Samordnet areal- og transportplanlegging på lokalt og regionalt nivå for å redusere arealbruken og transportbehovet og for å tilrettelegge for økt kollektivtransport og økt sykkelbruk.	Varierende grad av prioritet i perioden 1990-2014. Redusert statlig kontroll av arealbruken gjennom restriksjoner på bruk av innsigelser fra statlige myndigheter.

Tabell V6-0-2 Virkemidler for å redusere klimagassutslipp fra annen transport enn vegtransport.

Virkemiddel	Beskrivelse	Historisk utvikling
CO ₂ -avgift på fossile drivstoff	CO ₂ - avgiftskomponent ved salg av drivstoff.	CO ₂ -avgift på mineralske produkter og bensin ble innført i 1991 og har økt gradvis fram til i dag.
Kvotesystemet	Innenriks luftfart er inkludert i det europeiske kvotemarkedet.	Luftfart ble inkludert i kvotemarkedet i 2012.
NOx-fondet		Staten inngikk i 2008 en avtale med 14 samarbeidende næringsorganisasjoner der næringsorganisasjonene skulle medvirke til gjennomføring av tiltak som gir tallfestede reduksjoner i de årlige NOx-utslippene fra utslippskildene som omfattes av avtalen. Bedriftene som deltar i fondet kan søke om støtte til utslippsreducerende tiltak. Betaling til fondet erstatter statlig NOx-avgift for de tilsluttede bedriftene.

Forutsetningene for referansebanen transport

Veitransport

- Utslipp for veitransport beregnes i veimodellen.
- Biodrivstoffinnblanding: Konstant prosent av diesel- og bensinforbruket.
 - 0,6 % av bensin
 - 5,6 % av diesel
 - OBS: dette gir en høy innblanding enn omsetningskravet ettersom flere av bilene går på diesel.

Personbiler

- Utslipp nybiler:
 - 110 g/km fram til 2020
- Utslipp hele kjøretøyparken - bensin:
 - 2 % årlig effektivisering av bensinbilene mellom 2010 og 2020. Utslipppet i 2020 blir da 147 g/km.
 - 1,5 % årlig effektivisering av bensinbilene mellom 2020-2030. Utslipppet i 2030 blir da 127 g/km.
- Utslipp hele kjøretøyparken - diesel:
 - 1 % årlig effektivisering av dieselbilene mellom 2010 og 2020. Utslipppet i 2020 blir da 134 g/km.
 - 0,7 % årlig effektivisering av dieselbilene fra 2020-2030. Utslipppet i 2030 blir da 125 g/km.
- Antall elbiler:
 - Ca 23 000 i 2020
 - Ca 30 000 i 2030
 - Elbiler kjører 6000 km, hvor halvparten erstatter dieselbil-km, resten kommer i tillegg
- Kjøretøy-km:
 - 2 % vekst per år fram til 2020
 - 1,3 % vekst per år mellom 2020-2030

Tunge kjøretøy og varebiler

- Utslipp:
 - OBS: for lastebiler og busser er det i framskrivningen antatt en **økning** i utslippsfaktor (gCO₂/km). Dette er en fortsettelse av en historisk trend.
 - Lastebiler: +0,5 % per år mellom 2010 og 2020, konstant i perioden 2020-2030
 - Buss, langdistanse: +0,2 % per år mellom 2010 og 2020, konstant i perioden 2020-2030
 - Buss, by: +0,2 % per år mellom 2010 og 2020, konstant i perioden 2020-2030
 - Varebiler: 1 % effektivisering per år mellom 2010 og 2020, 0,7 % effektivisering per år mellom 2020 og 2030
- Kjøretøy-km:
 - Lastebiler: nullvekst
 - Buss, langdistanse: nullvekst
 - Buss, by:
 - 2 % vekst per år mellom 2010 og 2020
 - 1,6 % vekst per år mellom 2020 og 2030
 - Varebiler:
 - 2,8 % vekst per år mellom 2010 og 2020 i snitt for diesel og bensin
 - -20 % for bensindrevne varebiler
 - +3,77 % for dieseldrevne varebiler
 - 2,4 % vekst per år mellom 2020 og 2030 i snitt for diesel og bensin
 - -21 % per år for bensindrevne varebiler
 - +2,49 % per år for dieseldrevne varebiler

Fly, skip, bane og ikke-veigående kjøretøy

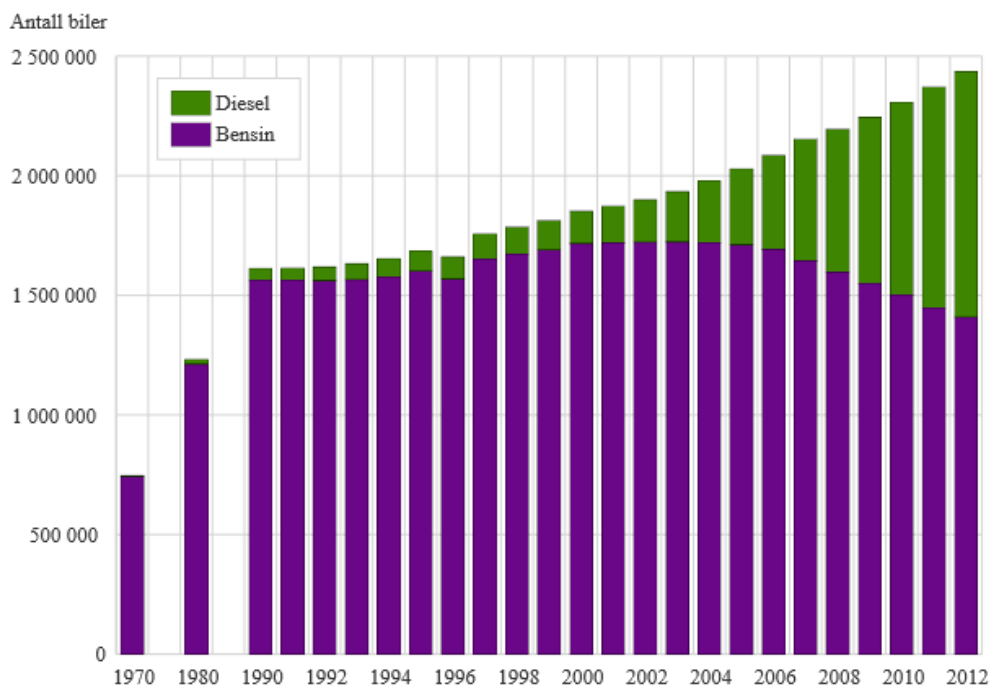
- Utslipppet for disse gruppene beregnes i MSG-modellen per økonomisk sektor
- Generelt er det antatt rundt 1 % effektivisering per år
- For luftfart er det antatt 1,5 % effektivisering per år

Detaljer om personbiler

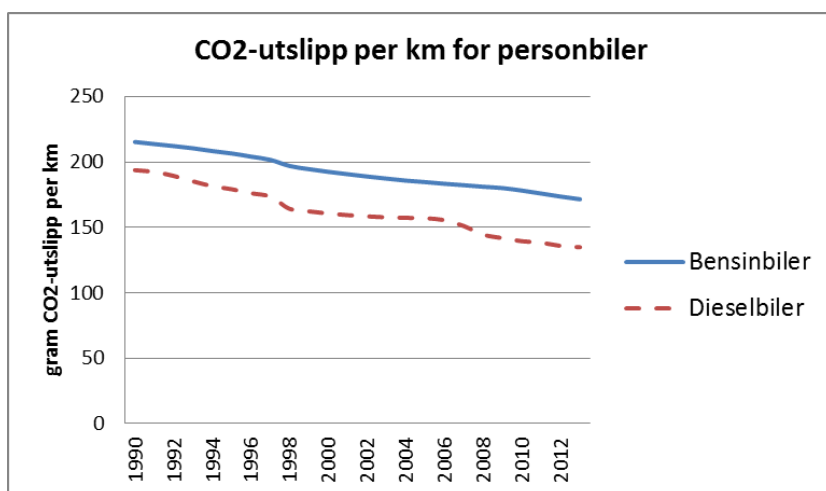
Siden personbilene står for den største andelen av klimagassutslipp i transportsektoren er disse beskrevet i noe mer detalj her.

Sammensetningen av personbilparken har endret seg betydelig de siste 10 årene med en sterk vekst av dieselbilandelen, se Figur V6-0-1. En av årsakene er omleggingen av engangsavgiften som favoriserer biler med lave CO₂-utslipp. Dieselbiler har generelt et lavere utslipp når man sammenligner med en like stor bensinbil. I Figur V6-0-2 vises at CO₂-utslippet per km har blitt redusert betydelig, både for bensin- og for dieselbiler. Men selv om utslippet per km har blitt redusert, har utslippet fra sektoren økt.

Registrerte personbiler, etter drivstofftype. Norge. 1970, 1980, 1990-2012



Figur V6-0-1 - Fordeling mellom diesel- og bensinbiler i personbilparken. Kilde: Motorvognregisteret i Vegdirektoratet.



Figur V6-0-2 - CO₂-utslipp for personbiler. Gjennomsnitt for bilparken.

Fordelingen av nybiler på ulike segmenter er vist i Figur V6-0-3 (Kilde: <http://ofvas.no/bilsalget/>). Et grovt anslag er at 50 % av bilene er Segment A-C (småbiler, se faktaboks under), mens 50 % er større biler (segment D, E, J).

Faktaboks bil-segmenter

Segment A, minibiler, inkluderer de minste bilene. Typiske modeller i dette segmentet er Fiat Panda, VW Up! og Smart.

Segment B, småbiler, er sammen med C-segmentet et av de mest populære segmentene i Europa. Typiske biler inkluderer VW Polo, Ford Fiesta og Toyota Yaris.

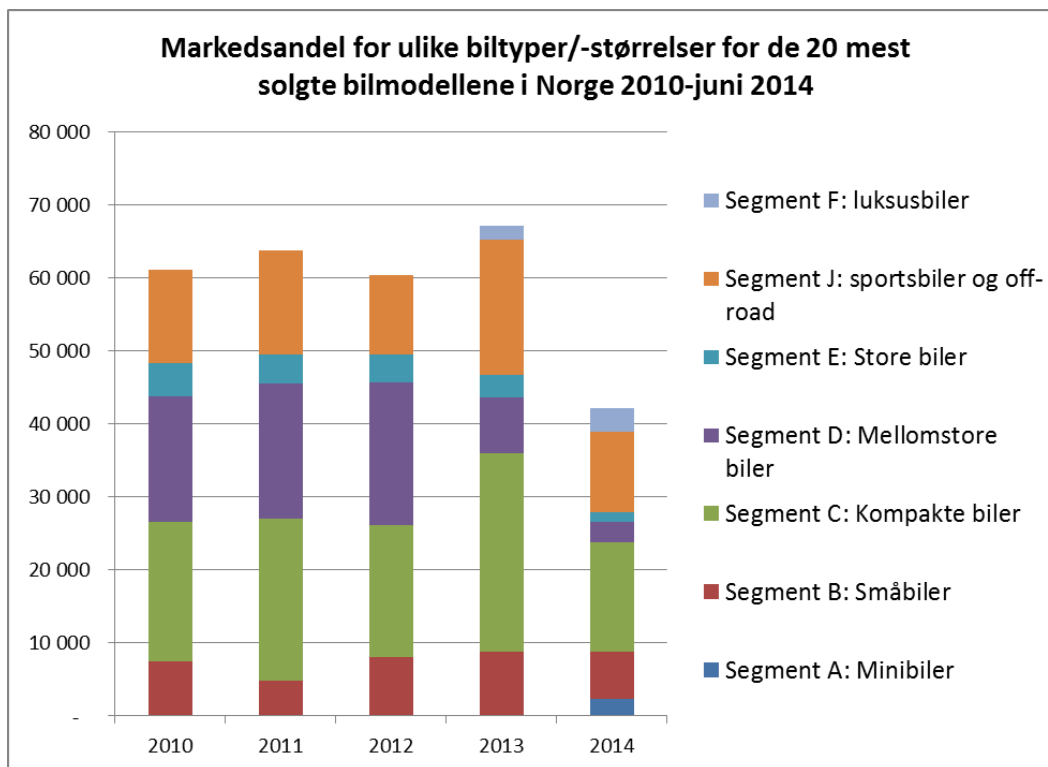
Segment C inkluderer VW Golf som har vært på 1.plass over de meste solgte bilene i Norge de siste årene. Andre biler i dette segmentet er Ford Focus, Audi A3 og Mercedes A-klassen. Dette er det segmentet som har hatt størst andel av topp20-bilene i Norge de siste årene.

Segment D er mellomstore biler slik som BMW 3-serien, VW Passat, Audi A4 og Volvo V60.

Segment E er "executive cars" og inkluderer blant annet Volvo V70, BMW 5-serien og Mercedes E-klassen.

Segment J inkluderer SUV og pick-up biler, slik som VW Touareg, Toyota RAV4, Nissan Qashqai og Mitsubishi Outlander.

Segment F er luksusbiler. Den eneste bilen på Norges topp 20-liste som faller i denne kategorien de siste årene er Tesla Model S.



Figur V6-0-3- Markedsandelen til ulike bilsegmenter 2010-2014.

Vedlegg 7. Sektorvise utslippsreduksjoner i forhold til referansebanen

Tabell V7-0-1 Reduksjoner i forhold til 2030-nivå i referansebanen (i mill. tonn og i %)

	Utslipps-reduksjon er T1 (mill. tonn CO ₂ -ekv.)	%-vis endring T1	Utslipps- reduksjoner T2 (mill. tonn CO ₂ -ekv.)	%-vis endring T2	Utslipps- reduksjoner T3 (mill. tonn CO ₂ -ekv.)	%-vis endring T3
Bygg	0,88	-73 %	0,90	-75 %	0,92	-76 %
Jordbruk	0,04	-1 %	0,30	-7 %	0,41	-9 %
Transport	4,99	-27 %	9,14	-50 %	10,69	-58 %
Avfall*	0,00	0 %	0,00	0 %	0,00	0 %
Petroleum	1,68	-13 %	2,75	-21 %	6,55	-51 %
Industri	0,70	-6 %	1,50	-13 %	3,90	-33 %
F-gasser	0,19	-24 %	0,29	-35 %	0,29	-35 %
Energi- forsyning	0,32	-19 %	0,38	-22 %	1,00	-59 %
Totalt	8,80	-17 %	15,26	-29 %	23,76	-45 %

* Effekten av tiltak og virkemidler i avfallssektoren er ført i sektoren der tiltakene gir utslippsreduksjon.

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.

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.