

RAPPORT

METODER FOR Å ANALYSERE UTSLIPPS- OG KOSTNADSEFFEKTER MOT 2050



MENON-PUBLIKASJON NR. 155/2023

Av Nina Bruvik Westberg, Christoffer Thalberg Hamnes, Inger Nielsen Hole og Annegrete Bruvoll



Forord

Menon Economics har på oppdrag for Teknisk beregningsutvalg (TBU) for klima kartlagt relevante metoder for å analysere utslippsutvikling og utslipps- og kostnadsvirkninger av endret virkemiddelbruk i et 2050-perspektiv.

Rapporten er skrevet av Nina Bruvik Westberg, Christoffer Thalberg Hamnes, Inger Nielsen Hole og Annegrete Bruvoll. Annegrete Bruvoll har vært prosjekteier og Øyvind Nystad Handberg har kvalitetssikret arbeidet.

Vår kontaktperson i sekretariatet for TBU for klima har vært Linda Skjold Oksnes. Arbeidet er gjennomført i perioden august til november 2023. Vi takker TBU klima og sekretariatet for alle gode innspill og et godt samarbeid. Vi takker også for informasjon og nyttige refleksjoner fra en informant hos Energistyrelsen i Danmark.

Desember 2023

Nina Bruvik Westberg
Prosjektleder
Menon Economics

Innhold

SAMMENDRAG	2
1. INNLEDNING	4
1.1. Problemstillinger	4
1.2. Begrepsavklaringer	5
1.3. Informasjonsinnhenting	5
1.4. Leseveiledning	5
2. METODER FOR Å ANSLÅ UTSLIPPSUTVIKLING OG EFFEKTER AV VIRKEMIDLER	6
2.1. Usikkerhet knyttet til anslag på framtidig utslippsutvikling	6
2.2. Metoder for å anslå utslippsutvikling i et 2050-perspektiv	6
2.3. Hva kjennetegner en god scenarioanalyse	8
2.4. Metoder for virkemiddelanalyser	8
3. ANALYSER AV UTSLIPPSUTVIKLING MOT 2050 I ANDRE LAND	10
3.1. Oppsummerende funn	10
3.2. Danmark – scenarioer for å nå nullutslippsmål i 2050	13
3.3. Storbritannia – scenarioer for å nå nullutslippsmål i 2050	17
3.4. Nederland – scenarioer for å nå utslippsmål i 2030, 2040 og 2050	20
3.5. EUs vitenskapsråd – scenarioer gitt utslippsbudsjett og utslippsmål	21
3.6. Frankrike – karbonprisbane gitt oppnåelse av utslippsmål i 2050	23
3.7. EU – scenarioer av utslippsutvikling mot 2050	27
3.8. Analyser av endret virkemiddelbruk på utslippsutvikling fram mot 2050	30
3.9. New Zealand – framskrivinger av utslipp mot 2050	31
4. ANALYSER AV UTSLIPPSUTVIKLING MOT 2050 I NORGE	33
4.1. Norges Bank	33
4.2. DNV	35
4.3. Statistisk sentralbyrå	37
REFERANSER	39
VEDLEGG A	43

Sammendrag

På oppdrag for Teknisk beregningsutvalg for klima har Menon Economics kartlagt relevante metoder for å analysere utvikling i klimagassutslipp og utslipps- og kostnadsvirkninger av endret virkemiddelbruk i et 2050-perspektiv. Kartleggingen viser at flere land har gjennomført scenarioanalyser av utslipp i 2050 forutsatt måloppnåelse, såkalte «backcasting» scenarioanalyser. Flere aktører har analysert et lands utslippsutvikling i et tilsvarende 2050-perspektiv ut fra endringer i ett virkemiddel. Vi finner kun ett land som har framskrevet utslipp til 2050, utenom en scenarioanalyse. Vi finner ingen analyser som tar for seg kostnaden knyttet til effekter av ett eller flere virkemidler på utslipp i et tilsvarende tidsperspektiv.

Metoder for å anslå utslippsutvikling og effekter av virkemidler

Det er naturlig stor usikkerhet om framtiden, og dermed krevende å anslå utviklingen i klimagassutslipp og enda mer krevende å anslå effekter av ulike virkemidler på utslippsutviklingen. En framskrivningsbane vil avhenge av alle forutsetningene som er gjort for akkurat denne banen, men vil ikke alene kommunisere bredden i mulig utvikling. Scenariometodikk kan synliggjøre usikkerheten i antatt sentrale drivkrefter, og illustrere en bredde i det som anses å være et sannsynlig utfallsrom. Scenariometodikk kan også brukes til tilbakeskuing («backcasting»). Da utarbeides scenarioer for overganger til en bestemt situasjon i framtiden, for eksempel et nasjonalt utslippsmål for 2050. Disse scenarioene kan vise flere mulige veier til måloppnåelse. For å forstå hvordan ett eller flere samtidige virkemidler samvirker og bidrar til måloppnåelse, er det behov for virkemiddelanalyser. Scenariometodikk kan også anvendes for å illustrere bredden i utfallsrommet for effektene av virkemidler.

Analyser av utslippsutvikling mot 2050 i andre land

Flere land har analysert nasjonal utslippsutvikling mot 2050, se Tabell S-1. Danmark, Storbritannia, Nederland, og EU har utarbeidet scenarioanalyser der alle scenarioene resulterer i netto nullutslipp i 2050. Samtlige land-analyser er gjennomført på vegne av forvaltningen for å illustrere hvordan et land kan nå utslippsmålet. Frankrike har gjennomført en lignende analyse i forbindelse med utarbeidelsen av en karbonprisbane. EU har også gjennomført en framoverskuende scenarioanalyse med ulike antakelser om blant annet teknologitilgang og -bruk. Alle disse analysene tar utgangspunkt i energisystemmodeller, eller en kombinasjon av modeller. Vi finner få eksempler på analyser av utslipps- og kostnadsvirkninger av endret virkemiddelbruk i et 2050-perspektiv. OECD har utført en framoverskuende scenarioanalyse for Storbritannia med ulik karbonskatt og Sverige har utført en tilsvarende analyse med ulik økonomisk vekst. Kun New Zealand har, ifølge vår kartlegging, framskrevet en mulig utslippsbane mot 2050 utenom en scenarioanalyse. Flere av de framoverskuende scenarioanalysene inkluderer et referanse-scenario. Disse referanse-scenarioene viser framtidig utslippsutvikling med utgangspunkt i dagens politikk, og er dermed sammenlignbare med New Zealands enkeltstående utslippsframskriving.

Analyser av utslippsutvikling mot 2050 i Norge

Det foreligger flere analyser som tar for seg utviklingen i energisammensetningen og utslippsutviklingen i enkelte sektorer fram til 2050. Vi finner imidlertid ingen nylige studier eller analyser med hovedformål å anslå utslippsutviklingen for Norge samlet sett så langt fram i tid, men vi finner tre tidligere analyser. I en studie fra 2013 gjennomførte Statistisk sentralbyrå framskrivinger av norske utslipp fram mot 2050 (Fæhn, Isaksen, & Rosnes, 2013), Norges Bank har analysert økonomiske konsekvenser av ulike klimascenarioer fram til 2050/2100 (Johansen, Landsem, & Solheim, 2023), og DNV (2022) har laget en «best-estimat» prognose på energisammensetning i 2050.

Tabell S-1 Analyser av land/regioners utslippsutvikling fram mot 2050

Land	Aktør	Metode	Modell
Tilbakeskuende scenarioanalyser			
Danmark ⁱ	Danske Energistyrelsen	Gitt netto nullutslippsmål i 2050	InterACT – en generell likevektsmodell kombinert med en energisystemmodell (TIMES-DK)
Storbritannia ⁱⁱ	HM Government	Gitt netto nullutslippsmål i 2050	UK TIMES model (UKTM) – en energisystemmodell
Nederland ⁱⁱⁱ	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO)	Gitt netto nullutslippsmål i 2050	OPERA – en energisystemmodell
EU ^{iv}	European Scientific Advisory Board on Climate Change	Gitt netto nullutslippsmål i 2050	REMIND 2.1, REMIND-MAGPIE 2.1-4.2, REMIND 3.2 og MESSAGEix-GLOBIOM 1.1 – samtlige består av en kombinasjon av generell likevektsmodell og energisystemmodell
Frankrike ^v	Kommisjon ledet av Alain Quinet / France Stratégie	Gitt nullutslippsmål i 2050, grunnlag for karbonprisbane	TIMES og POLES – tekno-økonomiske modeller. IMACLIM, ThreeME, NEMESIS – sektorale makroøkonomiske modeller
Framoverskuende scenarioanalyser			
EU ^{vi}	European Commission	Ulike tilgang på teknologi osv.	PRIMES-GAINS-GLOBIOM – en energisystemmodell, koblet med en partiell likevektsmodell for areal- og skogbruk og en modell for utslipp og luftforurensning
Storbritannia ^{vii}	OECD	Ulike nivå på karbonskatt	ThreeME – en generell likevektsmodell
Sverige ^{viii}	Konjunktur-instituttet	Ulike nivå på økonomisk vekst	EMEC – en generell likevektsmodell
Framskrivinger			
New Zealand ^{ix}	Ministry for the Environment	Framskrivinger av utslipp mot 2050	Sektorspesifikke modeller

* Se kapittel 4 for en omtale av analyser av norske utslipp. ⁱ [Energistyrelsen](#) (2022), ⁱⁱ HM Government (2021) ⁱⁱⁱ [TNO](#) (2022) ^{iv} [European Scientific Advisory Board on Climate Change](#) (2023) ^v [France Stratégie](#) (2019) ^{vi} [European Commission](#) (2018) ^{vii} [Pareliussen, Crowe, Kruse, & Glocker](#) (2022) ^{viii} [Otto & Below](#) (2023) ^{ix} [Ministry for the Environment](#) (2022)

1. Innledning

Norge har satt mål om reduserte utslipp fram mot 2050. Det er gjennomført flere analyser av forventet utslippsutvikling i Norge fram mot 2030, deriblant som del av Klimakur og i nasjonalbudsjettet. Nasjonalbudsjettet for 2023 inkluderer framskrivninger av klimagassutslipp i Norge fram til 2035. Framskrivningene baseres på vedtatt politikk og gjeldende virkemiddelbruk, i tråd med krav til internasjonal rapportering.¹ Virkningene av planlagte endringer i virkemiddelbruk er ikke hensyntatt.² Forvaltningen har ikke gjennomført analyser av utslippsutviklingen og virkemiddelbruk i et 2050-perspektiv for Norge samlet sett. Dette skyldes blant annet at usikkerheten rundt teknologisk utvikling og kostnader øker med tidsperspektivet. Gitt at Norge har satt utslippsmål også for 2050, er det behov for kunnskaper om relevante metoder for å analysere utslippsutvikling og utslipps- og kostnadsvirkninger av endret virkemiddelbruk lenger fram i tid. Analyser som bare går fram mot 2030/35 vil ha begrenset informasjonsverdi om hvilke samfunnsendringer som er nødvendige for å nå 2050-målet.

Teknisk beregningsutvalg (TBU) for klima skal gi råd om hvordan eksisterende metoder for tiltaks- og virkemiddelanalyser på klimaområdet kan forbedres og peke på områder der det vurderes å være særlig behov for kunnskapsutvikling innenfor tiltaks- og virkemiddelanalyse. Et bedre kunnskapsgrunnlag om relevante metoder vil kunne informere valg av metoder i Norge.

Med dette som bakteppe ønsker TBU for klima økt kunnskap om metoder som kan brukes til analyser av utslippsutvikling og utslipps- og kostnadsvirkninger av endret virkemiddelbruk i et 2050-perspektiv. Behovet for et bedre kunnskapsgrunnlag trekkes også fram av Klimautvalget 2050, deriblant for at staten kan planlegge for å nå klimamålene (Klimautvalget 2050, 2023).

1.1. Problemstillinger

Oppdraget består av følgende deler:

1. En beskrivelse av relevante metoder, inkludert scenariometodikk og hva som kjennetegner en god scenarioanalyse.
2. En kartlegging av om andre land og/eller internasjonale organisasjoner (EU, IEA, OECD m.m.) har gjennomført analyser av utslippsutvikling og utslipps- og kostnadsvirkninger av endret virkemiddelbruk i et 2050-perspektiv og hvilke metoder som er brukt.
3. En kartlegging av relevante norske analyser og hvilke metoder som er brukt for analyser i et 2050-perspektiv.

Et sentralt tema i scenarioer er antakelser om teknologiutvikling og -adopsjon. Kartleggingen omfatter en drøfting av hvilke antakelser som gjøres og på hvilket grunnlag antakelsene er gjort i scenarioene/analysene. Et annet sentralt tema, når utslippene skal ned mot null, er virkning på etterspørselen etter begrensede ressurser (energivarer, arbeidskraft, areal m.m.) og hvordan dette virker tilbake på muligheten for å oppnå utslippskutt. Kartleggingen omfatter også en drøfting av om analysene inkluderer denne typen virkninger.

¹ Se Norges statusrapport til UNFCCC for detaljer (KLD, 2023).

² Som del av Meld. St. 13 (2020–2021) Klimaplan for 2021–2030 ble det riktignok gjennomført effektberegninger av ulike virkemidler, deriblant som følge av krav og offentlig innkjøp og økning i klimagassavgift.

Rapporten omfatter analyser som vurderer utslippsutvikling og virkemiddelbruk fram til 2050, og drøfter ikke analyser med kortere (2030-2035) perspektiv. Rapporten omfatter videre bare analyser som tar for seg nær samtlige utslipp i et gitt land, og omfatter dermed ikke sektorspesifikke analyser av utslipp i et 2050-perspektiv.

1.2. Begrepsavklaringer

Generelle begreper:

- **Virkemiddel:** Styringsverktøy for å oppnå en ønsket effekt, eksempelvis for å utløse utslippsreducerende tiltak. Se nærmere omtale i delkapittel 2.4.
- **Framskrivinger, prognoser og scenarioanalyser:** Se delkapittel 2.2

Til grunn for scenarioanalysene brukes ulike typer modeller, i hovedsak følgende typer:

- **Generelle likevektsmodeller** beskriver hvordan ulike deler av økonomien påvirker hverandre for å oppnå økonomisk likevekt.
- **Integrated Assessment Model (IAM)**, ofte kalt integrert vurderingsmodell på norsk, brukes i klimaforskning for å utforske komplekse sammenhenger mellom økonomiske, teknologiske og miljømessige faktorer. IAMs tar inn data fra flere forskjellige fagområder, inkludert økonomi, energi, miljø og klima, og kombinerer dem for å vurdere hvordan ulike politiske beslutninger og scenarioer kan påvirke framtidige forhold som klimaendringer, energiforbruk og utslipp av klimagasser.
- **Energisystemmodeller** optimaliserer energisystemer ved å inkludere faktorer som teknologi, økonomi, miljø, politikk og samfunn. Mange energisystemmodeller ser også på utslipp.

Under følger en liste over relevante tiltak i flere av scenarioanalysene for å nå mål om netto utslipp i 2050.

- **Carbon capture and storage (CCS):** tilsvarer karbonfangst og lagring.
- **Carbon capture usage and storage (CCUS):** tilsvarer karbonfangst, utnyttelse og lagring.
- **Direct Air Capture with Carbon Storage (DACCS):** en teknologi og prosess som fjerner og deretter lagrer CO₂ fra atmosfæren.
- **Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS):** en teknologi og prosess som reduserer CO₂-nivåene i atmosfæren.

Klimagassutslipp omtales som **utslipp**. CO₂-ekvivalenter omtales med forkortelsen **CO₂e**. **CO₂e** brukes til å sammenligne oppvarmingseffekten til ulike klimagasser. Dette gjøres ved å omregne mengden av hver gass til mengde CO₂ med samme klimapåvirkning.

1.3. Informasjonsinnhenting

Som del av informasjonsinnhenting har vi gjennomgått relevante dokumenter beskrevet i påfølgende delkapitler, og gjennomført intervju med en informant fra Energistyrelsen i Danmark. Formålet med intervjuet var å bedre forstå valg av metoder og antakelser i gjennomføring av scenarioanalyser for Danmark i et 2050-perspektiv.

1.4. Leseveiledning

I kapittel 2 beskriver vi utfordringer med å anslå utslippsutviklingen fram mot 2050, mulige metoder for å anslå utslippsutviklingen, kjennetegn ved en god scenarioanalyse, og metoder for virkemiddelanalyse. I kapittel 3 beskriver vi et utvalg analyser gjennomført med et 2050-perspektiv og tilhørende metoder. Kapittel 4 gir eksempler på norske analyser av Norges utslippsutvikling fram mot 2050.

2. Metoder for å anslå utslippsutvikling og effekter av virkemidler

Det er naturlig stor usikkerhet om fremtiden, og dermed krevende å anslå utviklingen i klimagassutslipp og enda mer krevende å anslå effekter av ulike virkemidler på utslippsutviklingen. En framskrivningsbane vil avhenge av alle forutsetningene som er gjort for akkurat denne banen, men vil ikke alene kommunisere bredden i mulig utvikling. Scenariometodikk kan synliggjøre usikkerheten i antatt sentrale drivkrefter, og illustrere en bredde i det som anses å være et sannsynlig utfallsrom. Scenariometodikk kan også brukes til tilbakeskuing («backcasting»). Da utarbeides scenarioer for overganger til en bestemt situasjon i fremtiden, for eksempel et nasjonalt utslippsmål for 2050. Disse scenarioene kan vise flere mulige veier til måloppnåelse. For å forstå hvordan ett eller flere samtidige virkemidler samvirker og bidrar til måloppnåelse, er det behov for virkemiddelanalyser. Scenariometodikk kan også anvendes for å illustrere bredden i utfallsrommet for effektene av virkemidler.

2.1. Usikkerhet knyttet til anslag på framtidig utslippsutvikling

Usikkerhet knyttet til utviklingen i utslippsreducerende og energieffektiviserende teknologier gir usikkerhet om omfanget av utslipp som kan kuttes og til hvilke kostnader. Framtidige utslipp påvirkes av befolkningens preferanser, politiske beslutninger, internasjonale avtaler og nasjonalt regelverk, som vil endre seg over tid. Endringer i befolkningsutvikling og økonomisk utvikling vil påvirke etterspørselen etter utslippsintensive og mindre utslippsintensive varer og tjenester. Eksempelvis vil antatt lavere økonomisk vekst enn det som viser seg i fremtiden innebære at vi planlegger for lavere framtidige utslipp enn det som kan bli realiteten. Samtidig samspiller usikkerhetsfaktorene – høyere økonomisk vekst kan medfører nye utslippsreducerende teknologier. Usikkerheten øker med tidshorisonten. Det er dermed mye mer utfordrende å framskrive utslipp i 2050 enn i 2030.

Usikkerhetsfaktorene vil påvirke ulike utslippskilder på forskjellig måte. Utslippskildene kan grovt sorteres etter:

- bruk av fossile energikilder, herunder til transport og oppvarming
- industriprosesser (eksempelvis utslipp ved produksjon av aluminium)
- arealbruk, herunder skog
- biologiske utslipp
- avfallsbehandling

Samspillet mellom kilder og enkeltaktører bidrar til ytterligere usikkerhet. Endringer i én sektor eller kilde kan ha uventede konsekvenser i andre, og handlingene til individuelle aktører og nasjoner kan forsterke eller dempe utslippsveksten.

2.2. Metoder for å anslå utslippsutvikling i et 2050-perspektiv

Vi drøfter i denne delen relevante metoder for å anslå utslippsutviklingen i et 2050-perspektiv.

Framskrivninger er anslag på framtidig utvikling basert på et sett med mest rimelige antakelser om eksogene faktorer som driver den framtidige utviklingen.³ Eksempler på sentrale drivere er Statistisk sentralbyrå anslag på befolkningsutviklingen, vedtatt politikk og Perspektivmeldingens anslag på produktivitetsvekst. Eksempler på framskrivninger er FNs klimapanel (IPCC) framskrivninger av klimaendringer og Nasjonalbudsjettet 2023 sine framskrivninger av klimagassutslipp fram mot 2035.

For å synliggjøre usikkerheten i de eksogene faktorene utarbeides ulike framskrivninger der en legger inn avvik fra hovedforutsetningene for noen sentrale variabler (som for SSBs og IPCCs framskrivninger). Hovedbanen som vurderes som den mest realistiske utviklingen omtales som en **prognose**. Usikkerheten i prognosene kan synliggjøres i form av ulike scenarier. Eksempelvis baserer IPCCs prognoser seg på ulike scenarier.

Scenariometodikk kan brukes til å belyse framtidssbildet med ulike forutsetninger om framtidig utvikling. En scenarioanalyse kjennetegnes ved at den viser flere mulige framtidige utfall. Et **scenario** er ikke nødvendigvis en prognose, men en beskrivelse av en mulig eller ønsket framtid. For eksempel kan utslippsutviklingen i et 2050-perspektiv analyseres med utgangspunkt i følgende to tilnæringer:

1. Framskrivninger eller scenarier av framtidig utslippsnivåer gitt videreføring av dagens utvikling («forecasting», framoverskuende): Denne tilnærmingen tar hensyn til eksisterende data og trender innen teknologi, energibruk, økonomi, demografi, osv. for å forutsi framtidige utslippsnivåer. Flere scenarier kan utvikles ved å justere usikre parametere, for eksempel ulike politiske scenarier eller mulige teknologiske gjennombrudd. På denne måten kan en for eksempel belyse spennet i sannsynlige framtidsscenarier, fra mest pessimistisk til mest optimistisk.

Scenarioanalysene kan avdekke behov for nødvendige tiltak dersom de avdekker muligheter for uønsket utvikling. Se omtale av eksempler på en framoverskuende scenarioanalyse i delkapittel 3.7 (EU), en framskrivning i delkapittel 3.9 (New Zealand) og DNVs analyse av norske utslipp i delkapittel 4.2.

2. Alternative scenarier gitt utslippsmål (tilbakeskuende, «backcasting»): Denne tilnærmingen starter med et mål for framtidige utslippsnivå, for eksempel et mål om netto nullutslipp i 2050. Deretter arbeider man bakover i tid for å identifisere kombinasjoner av framgangsmåter som kan føre til oppnåelse av målet. Dette kan inkludere ulike kombinasjoner av politiske tiltak, teknologisk utvikling, og endringer i forbrukeradferd.

Denne typen scenarier kan brukes til å vise hvordan utslippsmål kan nås. Scenarioene kan også brukes til å synliggjøre hvor sterke tiltak som må til, og potensielt identifisere hvilke tiltak som vil være mest kostnadseffektive for å oppnå ønskede utslippsreduksjoner. Se omtale av eksempler på denne tilnærmingen i delkapitlene 3.2 (Danmark), 3.3 (Storbritannia) og 3.4 (Nederland), samt for EU i delkapittel 3.5.

Prinsipielt er scenarioanalyser en delmengde av framskrivninger, der scenarioanalyser utforsker ulike framtidige utviklingsbaner basert på et spekter av mulige utfall. Flere av de framoverskuende scenarioanalysene beskrevet i kapittel 3 inkluderer referansescenarier. Disse referansescenariene viser framtidig utslippsutvikling med utgangspunkt i dagens politikk, og er dermed sammenlignbare med New Zealands enkeltstående utslippsframskrivning.

³ I forbindelse med vurderinger av effekter av tiltak og virkemidler, omtales framskrivningene ofte som en referansebane.

I Vedlegg A omtales anbefalingene fra EUs vitenskapsråd for klimaendringer om bruk av scenarioanalyser for å etablere klimamål og utslippsbudsjett og scenarioanalyser av energiforsyning og -etterspørsel.

2.3. Hva kjennetegner en god scenarioanalyse

Scenariometodikk er mest relevant i tilfeller med komplekse og svært usikker utvikling i størrelser som er vanskelig å kvantifisere, for eksempel teknologi og politikk. Scenarioene bør reflektere et relevant framtidsbilde det er usikkerhet rundt. I tillegg bør scenarioene ha distinkte kjennetegn som skiller dem fra hverandre. Et sentralt steg i en god scenarioanalyse er å identifisere hvilke sentrale forhold det er knyttet stor usikkerhet til, og hvordan disse kan utvikle seg over tid. Metodikken bak scenarioenes utforming bør være konsekvent over tid og på tvers av de ulike scenarioene for å sikre sammenlignbarhet. Scenarioer bør ideelt sett også være konsistente på tvers av studier. Eksempelvis bør scenarioer av utslipp legges til grunn scenarioer for befolkningsutvikling og økonomisk vekst.

Scenarioene må også være åpne. Scenarioene gir ikke nødvendigvis presise detaljer, men kan være utformet for å utfordre til debatt og engasjere. Samtidig må en god scenarioanalyse være realistisk, eksempelvis at de overholder ressursbegrensninger, og være plausible. Sistnevnte innebærer at scenarioene er fundert i historisk og dagens utvikling, uten at de legger til grunn at fremtiden ligner nåtid og fortid (Feenstra, Burton, Smith, & Tol, 1998).

En scenarioanalyse bør inneholde minst tre scenarioer. Informanten i Energistyrelsen anbefaler fire, da det er lett å tolke det midtre scenarioet som mest realistisk dersom det kun er tre.

Scenarioer utvikles ofte basert på ekspertvurderinger, ekstrapoleringer av trender, internasjonale sammenligninger og modellresultater. Modellresultatene beskrives som særlig relevante for veietableerte sammenhenger, for eksempel demografiske strukturer og befolkningsvekst. Ekspertvurderinger kan brukes til å fylle hull, for å sikre koherente og plausible scenarioer, og for å sikre en interessant bredde i scenarioer. Ekspertvurderinger kan også brukes til å sikre konsistens, dersom modeller og andre kilder gir ulike resultater (Feenstra, Burton, Smith, & Tol, 1998).

2.4. Metoder for virkemiddelanalyser

Virkemidler er styringsverktøy for å oppnå ønskede effekter, i dette tilfellet tiltak som reduserer klimagassutslipp. IPCC skiller mellom følgende virkemidler:

- økonomiske virkemidler tiltak (karbonskatt, kvotemarkeder, subsidier til fornybare energikilder osv.)
- direkte reguleringer (utslippsstandarder, restriksjoner osv.)
- andre virkemidler
 - Andre virkemidler kan omfatte pedagogiske (eksempelvis veiledning) og organisatoriske virkemidler (eksempelvis organisering av virksomheter eller ansvarsområder).

Virkemiddelanalyser analyserer forventet effekt på utslipp, i tillegg til kostnader, økonomiske ringvirkninger og fordelingsvirkninger. En virkemiddelanalyse kan omfatte ett eller flere virkemidler. Kompleksiteten i analysen øker med antall virkemidler, samtidig som en analyse av flere virkemidler kan gi informasjon om samvirkninger og nettoeffekter av virkemiddelbruken for kostnader og andre forhold i økonomien. Vi viser til TBU klimas tidligere rapporter for en beskrivelse av mulige metoder for å vurdere utslipps- og kostnadsvirkninger av endret virkemiddelbruk.

Scenarioanalyser og virkemiddelanalyser kan kombineres. I delkapittel 3.6 (Frankrike) beskriver vi bruk av scenariometodikk for å anslå en karbonprisbane som sikrer netto nullutslipp i 2050. I delkapittel 3.8 beskriver vi bruken av scenarioanalyser til å vurdere utslippsutviklingen i Storbritannia gitt ulik karbonskatt.

I norsk sammenheng er virkemiddelanalyser gjerne brukt til å analysere effekten av virkemidler på utslippsutviklingen i enkeltsektorer (for eksempel transport), mens det i begrenset grad er gjennomført virkemiddelanalyser med utgangspunkt i de samlede norske utslippene.

3. Analyser av utslippsutvikling mot 2050 i andre land

Flere land har analysert nasjonal utslippsutvikling mot 2050. Danmark, Storbritannia, Nederland, og EU har utarbeidet scenarioanalyser som alle forutsetter netto nullutslipp i 2050. Frankrike har gjennomført en lignende analyse i forbindelse med utarbeidelsen av en karbonprisbane. EU har gjennomført en framoverskuende scenarioanalyse med ulike antakelser om blant annet teknologitilgang og -bruk. Disse analysene er alle utarbeidet med utgangspunkt i energisystemmodeller, eller en kombinasjon av energimarkeds- og makroøkonomiske modeller. Vi finner få eksempler på analyser av utslipps- og kostnadsvirkninger av endret virkemiddelbruk i et 2050-perspektiv. OECD har utført en framoverskuende scenarioanalyse for Storbritannia med ulik karbonskatt og Sverige har utført en tilsvarende analyse med ulik økonomisk vekst. Kun New Zealand har, ifølge vår kartlegging, framskrevet en mulig utslippsbane mot 2050 utenom en scenarioanalyse.

3.1. Oppsummerende funn

Vi har kartlagt hvilke typer **analyser av utslippsutvikling** i et 2050-perspektiv som er gjennomført for enkeltland eller regioner.⁴ Videre har vi identifisert eksempler på **analyser av utslipps- og kostnadsvirkninger av endret virkemiddelbruk** i et tilsvarende tidsperspektiv. Tabell 3-1 oppsummerer hvilke aktører som er ansvarlig for analysene, anvendt metode og modeller for et utvalg analyser.

Tabell 3-1 Analyser av land/regioners utslippsutvikling fram mot 2050

Land	Aktør	Metode	Modell
Tilbakeskuende scenarioanalyser			
Danmark ⁱ	Danske Energistyrelsen	Gitt netto nullutslippsmål i 2050	InterACT – en generell likevektsmodell kombinert med en energisystemmodell (TIMES-DK)
Storbritannia ⁱⁱ	HM Government	Gitt netto nullutslippsmål i 2050	UK TIMES model (UKTM) – en energisystemmodell
Nederland ⁱⁱⁱ	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO)	Gitt netto nullutslippsmål i 2050	OPERA - en energisystemmodell
EU ^{iv}	European Scientific Advisory Board on Climate Change	Gitt netto nullutslippsmål i 2050	REMIND 2.1, REMIND-MAGPIE 2.1-4.2, REMIND 3.2 og MESSAGEix-GLOBIOM 1.1 – samtlige består av en kombinasjon av generell likevektsmodell og energisystemmodell
Frankrike ^v	Kommisjon ledet av Alain Quinet / France Stratégie	Gitt netto nullutslippsmål i 2050, grunnlag	TIMES og POLES – tekno-økonomiske modeller. IMACLIM, ThreeME, NEMESIS – sektorale makroøkonomiske modeller

⁴ Vi har fokusert på land med utslippsmål for 2050.

for
karbonprisbane

Framoverskuende scenarioanalyser			
EU ^{vi}	European Commission	Ulike tilgang på teknologi osv.	PRIMES-GAINS-GLOBIOM – en energisystemmodell, koblet med en partiell likevektsmodell for areal- og skogbruk og en modell for utslipp og luftforurensning
Storbritannia ^{vii}	OECD	Ulike nivå på karbonskatt	ThreeME – en generell likevektsmodell
Sverige ^{viii}	Konjunktur-instituttet	Ulike nivå på økonomisk vekst	EMEC – en generell likevektsmodell
Framskrivinger			
New Zealand ^{ix}	Ministry for the Environment	Framskrivinger av utslipp mot 2050	Sektorspesifikke modeller

* Se kapittel 4 for en omtale av analyser av norske utslipp. ⁱ[Energistyrelsen](#) (2022), ⁱⁱ HM Government (2021) ⁱⁱⁱ[TNO](#) (2022) ^{iv}[European Scientific Advisory Board on Climate Change](#) (2023) ^v[France Stratégie](#) (2019) ^{vi}[European Commission](#) (2018) ^{vii}[Pareliussen, Crowe, Kruse, & Glocker](#) (2022) ^{viii}[Otto & Below](#) (2023) ^{ix}[Ministry for the Environment](#) (2022)

Flesteparten av landene/regionene, deriblant Danmark, Storbritannia, Nederland, Canada og EU, har utarbeidet **tilbakeskuende scenarioer («backcasting»)** for å vurdere hvordan (veien til) måloppnåelse i 2050 kan se ut. Ettersom metodikken er relativt lik, beskriver vi ikke analysene for samtlige land, men ser nærmere på hvordan enkelte land har gjennomført scenarioanalyser, herunder med hvilke metoder, og hvordan scenarioanalysene brukes. Se omtale av Danmark, Storbritannia og Nederland i henholdsvis delkapitlene 3.2, 3.3 og 3.4, samt EU i delkapittel 3.5.

I flere av de tilbakeskuende scenarioanalysene, deriblant for Danmark og Storbritannia, er antakelser om teknologibruk, for eksempel andelen elbiler i 2050, tatt inn i modellene. Analysene brukes dermed ikke til å anslå teknologispredning. De tilbakeskuende analysene kan i stedet forstås som scenarioer gitt en kombinasjon av flere tiltak. Analysene sier ikke noe om virkemidler for å sikre måloppnåelse.

Aktiviteter som ligger til grunn for utslipp og tiltak i de ulike landene behandles i stor grad isolert fra endringer i omverden. Informanten i danske Energistyrelsen beskriver det til dels som en økonomi i en «osteklokke», eller glasskule. Eksempelvis legger den danske scenarioanalysen til grunn at all fornybar energi og biomasse produseres innenlands. Samtidig hensyntar ikke den danske analysen eventuelle begrensninger på arealbruk eller arbeidskraft. Ingen av analysene virker å hensynta konsekvensene av at samtlige land iverksetter lignende politikk og implikasjonene av dette for ressurstilgang. Informanten i danske Energistyrelsen påpeker at analyser av materialstrømmer inn og ut av landet vil kunne gi nyttig supplerende kunnskap til scenarioarbeidet. Enkelte av scenarioene ser likevel på endringer i det globale markedet. Eksempelvis forutsetter det ene danske scenarioet at dansk landbruk omstilles for å møte et større internasjonalt marked for plantebaserte matvarer og proteiner.

De tilbakeskuende scenarioanalysene viser hvordan fordelingen av utslipp mellom ulike sektorer kan se ut i 2050. Enkelte av scenarioanalysene viser også *utviklingen* i utslipp fram mot 2050, deriblant for EU og Storbritannia.

Samtidig stiller informanten i Energistyrelsen spørsmål ved hvor nyttig det er å vise utviklingen, gitt at måloppnåelsen er forutbestemt.

I delkapittel 3.6 ser vi nærmere på bruken av en **tilbakeskuende scenarioanalyse for å utarbeide en karbonprisbane mot 2050** for Frankrike. Analysen ligner på ovennevnte tilbakeskuende analyser, ved at den forutsetter et utslippsmål for 2050. Til forskjell fra øvrige analyser er ikke hensikten å vise ulike fordelinger av utslipp mellom sektorer i 2050, gitt netto nullutslipp. Analysen viser hvor store gjenværende utslipp kan være, gitt ulike antakelser om karbonopptak i skog- og arealbrukssektoren, men gir kun én illustrasjon av hvordan utslippene kan fordeles *mellom* sektorer. Vårt inntrykk er at modellverktøyene brukt til de øvrige tilbakeskuende scenarioanalysene i prinsippet også kan brukes til å utlede en skyggepris på karbon. Samtidig beskriver France Stratégie (France Stratégie, 2019) modellresultatet på karbonpris som mindre relevante etter et visst punkt for utslippsreduksjoner. Forfatterne ser behov for å ta inn ekspertvurderinger og andre kilder for å anslå en troverdig karbonprisbane etter 2040.

Behovet for bruk av supplerende kilder begrunnes med at det er utfordrende å modellere sammenhenger som sikrer «dyp» dekarbonisering, deriblant knyttet til arealbruk, innovasjon og internasjonal koordinering. Informanten i Energistyrelsen peker også på utfordringer med å utarbeide framtidbilder for 2050 basert på dagens modellverktøy, uten at dagens sammenhenger blir førende for mulige utfall i 2050. Kvalitative vurderinger, deriblant gjennom ekspertvurderinger, pekes på som en mulig kilde for å fange opp et større spenn i scenarioer.

Vi finner i begrenset grad eksempler på land som har gjennomført analyser av utslippsendringer av endret **virkemiddelbruk** i et 2050-perspektiv. Dette er i tråd med Skjeflo og Ytreberg (2023), som konkluderte med at ingen av landene de kartla, hadde funnet en «enkel løsning» på hvordan virkemiddelanalyser og utslippsframskrivninger til UNFCCC kan gjøres i samme rammeverk. Informanten i Energistyrelsen stiller også spørsmål ved hvor hensiktsmessig virkemiddelanalyser er i et 2050-tidsperspektiv, da det er vanskelig å vurdere hva som er effekter av virkemidler og hva som skyldes utviklingen i andre usikre faktorer.

EUs scenarioanalyse fra 2018 er et av få eksempler på en **framoverskuende scenarioanalyse i et 2050-perspektiv**, omtalt i delkapittel 3.7. I motsetning til ovennevnte analyser, forutsetter ikke analysene netto nullutslipp i 2050. I stedet sammenlignes en rekke scenarioer opp mot et referanse-scenario, med ulike antakelser om blant annet tilgjengelighet på og bruk av teknologi, samt ulik karbonpris. Også i denne analysen legges det dermed til grunn ulike antakelser om teknologibruk i 2050.

Andre aktører har gjennomført analyser av effekten av endringer i enkeltstående virkemidler. I delkapittel 3.8.1 omtaler vi OECDs analyse av endret karbonskatt i Storbritannia, mens delkapittel 3.8.2 tar for seg et svensk rammeverk som ifølge forfatterne kan brukes til å vurdere effekter av ulike virkemidler og eksogene drivkrefter på utslippsutviklingen.

Vi finner kun ett land som har **framskrevet utslipp mot 2050** (utenom en scenarioanalyse): New Zealand (se delkapittel 3.9). Framskrivningene er gjort med utgangspunkt i samme metodikk som utslippsframskrivningene til UNFCCC (sist gang fram mot 2035). Det vil si at framskrivningen omfatter implementerte og vedtatte tiltak og virkemidler.

3.2. Danmark – scenarier for å nå nullutslippsmål i 2050

Klimaprogram 2022 (KP-22) har som formål å vurdere Danmarks muligheter til å nå nasjonale klimamål.⁵ Energistyrelsen har utarbeidet en rekke analyser av utslippsutviklingen fram mot 2050 som bakgrunnsstoff til programmet. Utslippsutviklingen er anslått basert på scenariometodikk.

3.2.1. Scenarier

Energistyrelsen (2022) beskriver scenario-analysene som tekniske analyser, da de «kun» ser på tekniske muligheter for å oppnå klimamål i 2050. Ifølge informanten i Energistyrelsen var det ønskelig med analyser som viste at det var teknisk sett mulig, gitt ulike teknologier, å oppfylle målet for 2030 og netto nullutslippsmål for 2050.

Scenarioene brukes til å danne ulike framtidsbilder av hvordan langsiktig klimanøytralitet kan oppnås. Scenarioene brukes også til å illustrere ulike tilnærminger til måloppnåelse i 2030 som et skritt på veien mot de skisserte framtidsbildene for 2050.

Scenarioene tar utgangspunkt i fire overordnede faktorer som vurderes å ha stor betydning for omstillingen, og som det er stor usikkerhet knyttet til:

- elektrifisering
- energieffektivisering og adferdsendring
- negative utslippstiltak
- bioenergi

Faktorene er identifisert basert på KP21-scenarioene og andre tidligere scenarioanalyser, deriblant Nordic Clean Energy Scenarios (Wråke, et al., 2021) og IEAs scenarier fra World Energy Outlook 2021 (EIA, 2021). Det virker ikke å ligge til grunn en fastsatt metodikk for å identifisere faktorene. Informanten i Energistyrelsen bekrefter også dette. Faktorene er i stedet identifisert med utgangspunkt i utslippssektorer eller -aktiviteter som peker seg ut i Danmark, eksempelvis landbruk og sementproduksjon, og der det er stor usikkerhet knyttet til framtidig utvikling (eksempelvis biomasse). Se Tekstboks 3-1 for en nærmere omtale av faktorene.

Tekstboks 3-1 Beskrivelse av overordnede faktorer

Elektrifisering dekker både direkte og indirekte elektrifisering. Direkte elektrifisering omfatter blant annet varmepumper og elektrifisering av transportmidler, mens indirekte elektrifisering i hovedsak knyttes til «Power-to-X» (PtX)-teknologier. PtX-teknologier brukes som en fellesbetegnelse for teknologier som konverterer vedvarende energi til andre energiformer (X), som for eksempel gass (Power-to-Gas). Elektrifiseringsfaktoren tilfører analysen usikkerhet da det er uforutsigbarhet knyttet til realiseringspotensialet for direkte elektrifisering, samt framtidige kostnader ved PtX-teknologier.

Energieffektivisering og adferdsendring omhandler tiltak for å effektivisere energibruken og redusere energietterspørselen. Begge typer tiltak bidrar til å redusere kostnader ved omstillingen.

⁵ Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet er ansvarlig for utarbeidelsen av programmet.

Negative utslippstiltak omhandler metoder for karbonfangst og -lagring (CCS). Det langsiktige behovet for negative utslipp avhenger spesielt av behovet for å kompensere for utslipp i jordbruket. De negative utslippstiltakene tilfører analysen usikkerhet da det er uforutsigbarhet knyttet til hvilke utslippsteknologier som vil dominere framtiden, samt implementeringskostnader ved disse teknologiene. Usikkerhet knyttet til framtidige utslippsteknologier knyttes blant annet til utslippseffekt, teknologisk modenhet, ressursbegrensninger og muligheter for integrasjon med eksisterende infrastruktur. Det er også potensielle utfordringer knyttet til offentlig aksept av CO₂-lagring under bakken. I scenarioanalysen til Nordic Clean Energy ble usikkerhet knyttet til CCS håndtert ved bruk av sensitivitetsanalyser i alle scenarioene. Sensitivitetsanalysen økte kostnader for karbonlagring med en faktor på 10. Denne justeringen reduserte total karbonfangst med i underkant av 50 prosent.

Bioenergi har potensial til å erstatte fossile brensler og deler fordeler med PtX-teknologier. Bioenergi vurderes som en usikker faktor, da det er usikkerhet knyttet til tilgjengeligheten av biomasse og framtiden til biomassedrevet varmeanlegg.

Kilde: Wråke, et al. (2021), Energistyrelsen (2022)

Variasjoner i nevnte faktorer danner grunnlag for fire scenarioer som resultere i måloppnåelse av Danmarks nasjonale klimamål i 2050:

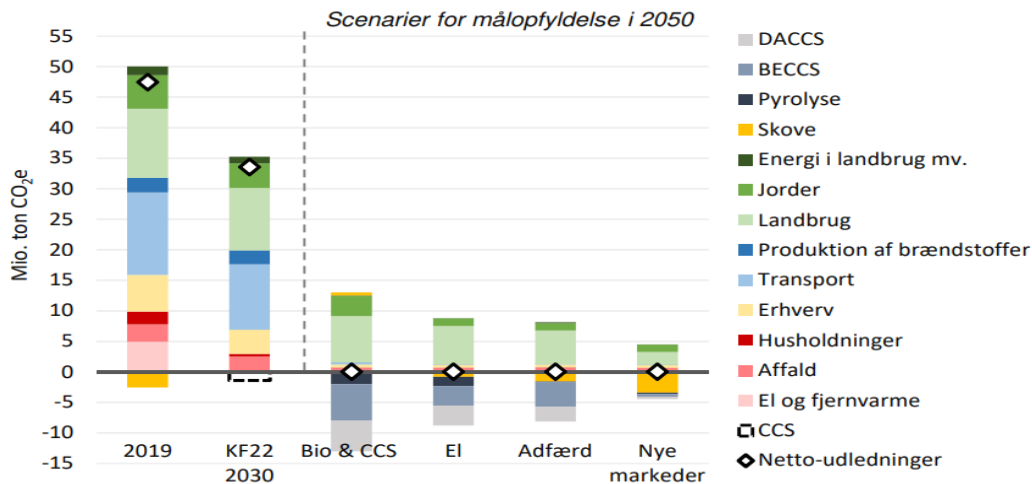
- 1) **«El»-scenarioet** illustrerer et samfunn med høy grad av elektrifisering og legger til grunn høy teknologisk utvikling, PtX-teknologier, billigere transportteknologier og varmepumper. I dette scenarioet er det redusert utslipp fra landbruk gjennom blant annet førtilsetning, gjødselhåndtering osv. i forbindelse med landbruksavtalen, noe som reduserer behovet for negative utslippstiltak.⁶ Det lavere behovet for negative utslippstiltak tilsier også lavere etterspørsel etter bioenergi.
- 2) **«Bio & CCS»-scenarioet** illustrerer en framtid hvor bioenergi og CCS har en relativt stor betydning i oppfyllelsen av klimamålet. I dette scenarioet antas det en lavere utvikling og prisnedgang for elektrifiseringsteknologier sammenlignet med i de øvrige tre scenarioene. I tillegg er det betydelig utslipp fra landbruk som må kompenseres med negative utslippstiltak.
- 3) **«Adferd»-scenarioet** illustrerer en framtid med betydelig energieffektivisering og en markant endring i klimavennlig adferd blant innbyggere og bedrifter, i tillegg til høy grad av elektrifisering. Scenarioet omhandler adferdsendringer som fører til betydelige kutt i landbruksrelaterte utslipp. Produksjon og konsum av utslippssintensive matvarer reduseres, hovedsakelig på grunn av en drastisk reduksjon i dansk kjøttforbruk som gjenspeiler en delvis overgang til plantebaserte matvarer og økologisk produksjon. Dette medfører en reduksjon i antall husdyr på 15 prosent, men uten endring i eksporten av animalske produkter. Scenarioet omhandler også adferdsendringer i form av økt bruk av kollektiv transport, mindre avfall og forbedret resirkulering. I tillegg antas det betydelig skogplanting. Adferdsendringene er ment å endre aktivitetsmønsteret i samfunnet, ikke aktivitetsnivået.
- 4) **«Nye markeder»-scenarioet** illustrerer en utvikling hvor det danske landbruket i stor grad omstilles for å møte et større internasjonalt marked for plantebaserte matvarer og proteiner. I tillegg omfatter scenarioet en høy grad av elektrifisering, energieffektivisering og et skifte mot klimavennlig adferd blant forbrukere og andre aktører. Scenarioet innebærer en strukturell endring i landbruksproduksjonen og

⁶ Landbruksavtalen er utarbeidet av den danske regjeringen og avtalepartnere. Avtalen skal støtte den grønne omstillingen i landbruks- og skogbrukssektoren og sikre forbedring av det danske vannmiljøet og mer plass til naturen i landbruksområdet.

reduserer husdyrholdet med 85 prosent innen 2050. Dette reduserer behovet for negative utslipp og gjør arealer tilgjengelige for forsterkning av biodiversitet og skogplanting.

Figur 3-1 illustrerer sektorfordelte CO₂e-utslipp for de fire scenarioene i 2050. Bio- og CCS-, EL- og Adferdscenarioene er alle avhengige av negative utslipp ved hjelp av DACCS og BECCS-teknologier for å balansere utslippene fra landbruk og arealbruk.

Figur 3-1 Grafisk illustrasjon av scenarier for måloppfyllelse i 2050 og relevante sektorer



Kilde: Energistyrelsen (2022)

Nye markeder-scenariot må også kompensere for utslipp fra landbruk og arealbruk, men oppnår dette primært gjennom skogplanting. Rapporten skisserer ikke utviklingen i CO₂-utslipp i de ulike scenarioene fram mot 2050.

3.2.2. Modellverktøy

Scenarioanalysen er gjennomført med utgangspunkt i en teknisk-økonomisk CGE-modell (InterACT). Modellen integrerer en generell likevektsmodell for den danske økonomien med en energisystemmodell (TIMES-DK). Ifølge Energistyrelsen inkluderer modellen alle sektorer med betydning for klimagassutslipp.⁷ Sektorer og områder er behandlet på ulikt vis i modellen, som eksemplifisert under:

- **Behovet for energitjenester og transport** er basert på eksterne modellinput.⁸
- **Oppvarming, prosessvarme til næringer, el- og fjernvarme, CCUS, og produksjon av grønne brennstoffer (PtX osv.)** modelleres basert på økonomisk optimalisering av kapasitet og drift, i tillegg til kunnskap om eksisterende/planlagte anlegg.⁹

⁷ Disse sektorene inkluderer forsyning, transport, landbruk, arealbruk og skog, og CO₂-fangst, -lagring og -bruk.

⁸ Se bakgrunnsnotatet «Forudsætninger for KP22-scenarier – Transportefterspørgsel» for mer informasjon (Energistyrelsen, 2022).

⁹ Elimport/eksport modelleres basert på elprisprofiler fra RAMSES-modellen. Avfallsforbrenning er vurdert basert på framskrivninger av avfallsmengden, nedlegginger/ombygninger og investeringer i avfallsanlegg, og justering i forbrenningskapasiteten gitt forventet avfallsmengde.

- **Landbruk, arealbruk¹⁰ og skog** er ikke modellert på samme måte som øvrige sektorer, da det ikke foreligger tilstrekkelig kunnskap/data. Sektorene er håndtert basert på faglige vurderinger, andre studier, og tekniske tiltak. Tiltak for reduksjon av drivhusgasser stammer i hovedsak fra den danske Landbruksavtalen.¹¹

Usikkerheten rundt kostnader for teknologier/omstillinger blir håndtert i scenarioene ved at det settes opp ulike rammer som modellen optimaliseres innenfor. I tillegg blir samspillet mellom de ulike sektorene fanget opp i modellen. Eksempelvis er det satt en ramme på gjenværende utslipp knyttet til landbruk, areal- og skogbruk. Modellen optimaliserer hvordan disse utslippene i 2030 og 2050 kompenseres med utslippskutt i andre sektorer på den mest kostnadseffektive måten. En annen ramme er basert på antakelser om hvordan transportsektoren fordeler seg på forskjellige motortyper¹² i 2030 og 2050.

Ifølge informanten i Energistyrelsen er det TIMES-delen av IntERACT-modellen som i stor grad er avgjørende for scenarioanalysen, mens den generelle likevektsmodellen er av mindre betydning. Dette har blant annet sammenheng med at antakelser om teknologibruk i 2050 er innbakt i IntERACT-modellen, og ikke noe som «faller ut» av modellen. IntERACT modellen ble likevel valgt da den er den eneste modellen med et samlet regnskap over utslipp i Danmark.

3.2.3. Bruk av scenarioanalysene og mulig videreutvikling

Den danske regjeringen har brukt Klimaprogram 2022 til å vurdere muliggjørelsen av klimalovens mål om 70 prosent reduksjon i 2030, og målet om klimanøytralitet innen 2050. Klimaprogram 2021 la grunnlag for beslutninger, utarbeidelsen av strategier og identifisert tekniske reduksjonspotensialer (se Klimaprogram 2022). På spørsmål om hvordan analysene er brukt, uttrykker informanten i Energistyrelsen at scenarioanalysene brukes inn i planleggingen av infrastruktur. Scenarioene beskrives på dette punktet som mer nyttig, enn for eksempel analyser av utslippsutvikling forutsatt dagens virkemiddelbruk (som rapporteres til IPCC).

Scenarioanalysene omfatter ikke vurderinger av utslipps- eller kostnadsendringer av endret virkemiddelbruk. Gitt den overordnede behandlingen av enkelte sektorer samt stor usikkerhet knyttet til kostnader og mulig teknologiutvikling, vurderer Energistyrelsen at scenarioene heller ikke kan brukes til å vurdere samlede «forvridningsomkostninger ved omstillingen» (Energistyrelsen, 2022). Samtidig påpeker informanten i Energistyrelsen at gitt restriksjonene i modellen, jobber den modellteknisk med en pris på CO₂ (en skyggepris). Teknisk sett kan man dermed trekke ut en CO₂-avgift.

På spørsmål om hvorvidt Norge anbefales å gjennomføre en tilsvarende scenarioanalyse, uttrykker informanten i Energistyrelsen at øvelsen med å beskrive hvordan fordelingen av utslipp i 2050 kan se ut er veldig nyttig. Samtidig påpeker hen at modellen fort blir førende for hvordan scenarioene kan se ut i 2050. Ifølge informanten er det nyttig å først forestille seg hvordan strukturer kan se ut i 2050, før så å ta det inn i modellen. Med utgangspunkt at de har gjort lignende øvelser mange ganger, har de en fornemmelse av at utfallet blir bundet ut fra hvor de starter, der dagens likninger fort blir førende for mulige utfall i 2050. Energistyrelsen har et pågående arbeid med en kvalitativ vurdering av hvordan strukturer med tilhørende utslipp kan se ut i 2050. Resultatet av dette arbeidet ferdigstilles trolig våren 2024.

¹⁰ «Jorder», jf. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/metodebeskrivelse_for_kp21-scenarier.pdf.

¹¹ Se baggrundsnotatet «Forudsætninger for KP22-scenarier - Landbrug, jorder og skov» for mer informasjon (Energistyrelsen, 2022).

¹² Motortyper (teknologityper): EL, Plug-in hybrid-elektriske kjøretøy (PHEV), gass, hydrogen, diesel, og bensin.

Danske Klimarådet vurderer at Energistyrelsens scenarioanalyser utgjør et viktig strategisk arbeid. De påpeker at scenarioanalysene trolig undervurderer potensiale for utslippskutt i jordbrukssektoren, da begrensninger i kunnskap om mulige tiltakseffekter innebærer også begrenset med kunnskap om kostnader. Klimarådet anbefaler at arbeidet videreføres, konkretiseres og i økende grad brukes som beslutningsgrunnlag for regjering og Folketing. De anbefaler også at videre scenarioarbeid bør omfatte utenlandstransport og synliggjøre forbruket av karbon- og biomasseressurser til henholdsvis negative utslipp, drivstoff og annen bruk, samt at analysene bør beskrive et utviklingsforløp helt fram til 2040. Scenarioene viser nå kun nedslagspunkter i 2030 og 2050.

3.3. Storbritannia – scenarioer for å nå nullutslippsmål i 2050

I 2021 publiserte den britiske regjeringen *Net Zero Strategy: Build Back Greener* (HM Government, 2021).¹³ Rapporten omfatter blant annet scenarioanalyser av hvordan Storbritannia kan nå målet om netto nullutslipp i 2050.

3.3.1. Scenarioer

Scenarioene bygger på tidligere arbeid knyttet til the Sixth Carbon Budget Impact Assessment (BEIS, 2021). Sensitivitetsanalyser derfra tilsa at den kostnadsoptimale teknologi- og energimiksen er følsom for usikkerhet knyttet til ressurstilgang (for eksempel biomasse) og teknologiforutsetninger. Det ble derfor utarbeidet fire netto nullutslipps-veier med ulik grad av teknologitilgjengelighet og ressurstilgang. Scenarioene hensyntar også tre teknologi- og ressursområder vurdert som relevante av BEIS.¹⁴ Oppsummert forventes Storbritannias å være avhengig av følgende «grønne teknologier» og energibærere for å nå nullutslippsmålet:

- elektrisitet
- hydrogen
- CCUS – karbonfangst, utnyttelse og lagring
- biomasse

I lys av dette er det utarbeidet tre scenarioer.

- 1) Høy elektrifisering.** Scenarioet forutsetter at Storbritannias elektrisitetsproduksjon øker til rundt 690 TWh, mer enn en dobling fra 2021. I tillegg skal lavkarbon hydrogenproduksjon skaleres opp til 240 TWh innen 2050. Sektorene veitransport og bygninger har tilnærmet null utslipp som følge av elektrifisering. Bygninger uten elektrisk oppvarming, er tilkoblet et lavkarbon fjernvarmenettverk. Industriutslipp er også tilnærmet null grunnet bruk av grønn teknologi og energieffektivitetstiltak. Elektrisitetsproduksjonen er avkarbonisert gjennom fornybare kilder, kjernekraft, og gass med CCUS. Gjenværende utslipp stammer fra luftfart, landbruk og avfall og blir balansert med skogreising¹⁵ og fjerning av CO₂, hovedsakelig gjennom BECCS, men også gjennom DACCS.
- 2) Høy ressursbruk.** Scenarioet forutsetter en økning i produksjonen av lavkarbon hydrogen til rundt 500 TWh. Hydrogen er hovedenergikilden for oppvarming. Etterspørselen etter elektrisitet er derfor lavere enn i scenario 1, med 610 TWh. Oppvarming av bygninger dekkes primært gjennom hydrogen, i tillegg til elektrisitet og fjernvarme. Scenarioet innebærer litt høyere gjenværende utslipp sammenlignet med

¹³ Dokumentet ble utarbeidet i henhold til paragraf 14 i Climate Change Act 2008.

¹⁴ 1. Den relative rollen til elektrifisering og hydrogen i drivstoffbytte. 2. Rollen til arealbruk og bioenergi for negative utslipp. 3. Rollen til innovasjoner for å kutte utslipp i de sektorene som det er vanskeligst å kutte i.

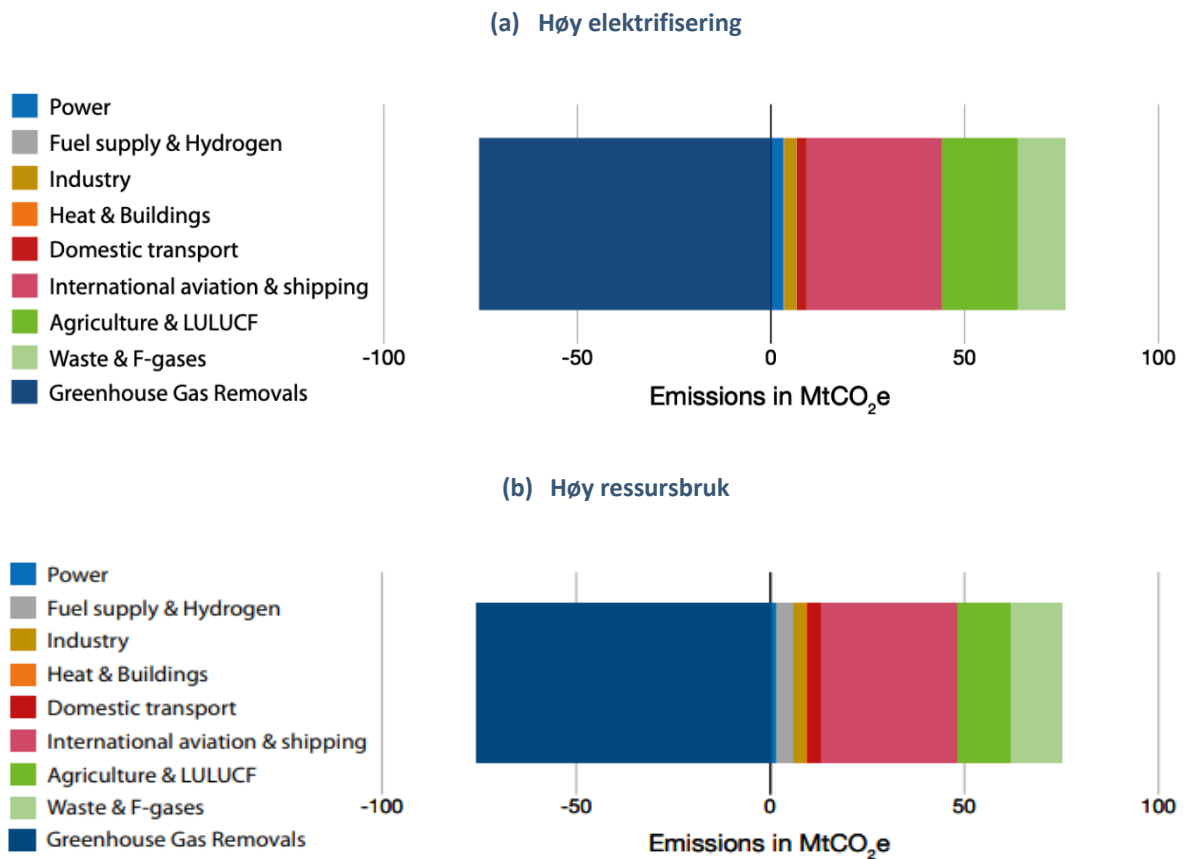
¹⁵ Tilsvarende afforestation.

i scenario 1, noe som fordrer økt nivå på skogreising. Tekniske metoder for å fjerne utslipp (BECCS osv.) brukes på lik linje som i scenario 1 til å kompensere for utslipp i sektorer det er vanskelig å dekarbonisere (deriblant luftfart og landbruk).

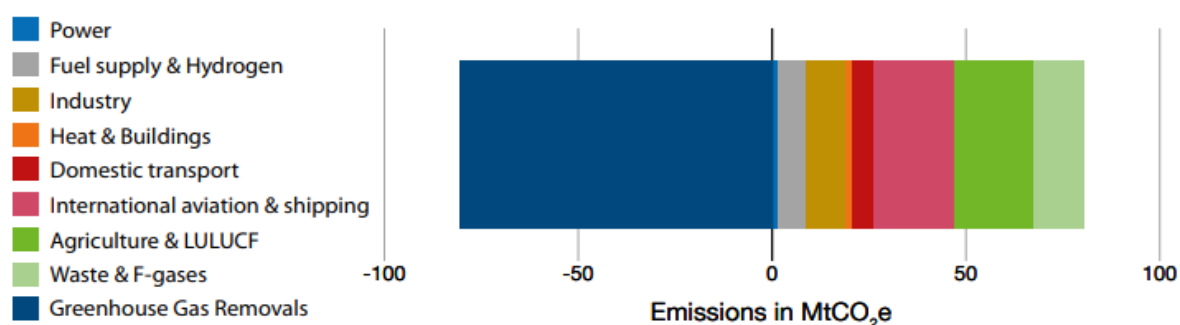
- 3) **Høy innovasjon.** Scenarioet forutsetter mer optimistiske antakelser rundt karbonfangst og utslippskutt i luftfart sammenlignet med scenario 1 og 2, gjennom større tilgjengelighet på bærekraftig drivstoff og nullutslippsfly. Disse antakelsene i kombinasjon med økt karbonfangst og negative utslipp gjør at avkarboniseringen i sluttbrukersektorer som transport, bygninger og landbruk kan reduseres litt sammenlignet med scenario 1 og 2. I dette scenarioet ligger elektrisitetsproduksjonen på 670 TWh og hydrogenproduksjonen på 330 TWh.

For hvert scenario illustreres fordelingen av energiproduksjon og sluttbruk, samt utslipp i 2050. Sistnevnte er illustrert i Figur 3-2. Utviklingen i utslipp illustreres kun fram mot 2037. I samtlige tre scenarioer antas samme årlige utslippsreduksjon.

Figur 3-2 Fordelingen av utslipp i scenarioene gitt netto nullutslipp i 2050 i Storbritannia



(c) Høy innovasjon



Kilde: HM Government (2021)

Scenarioene kan ikke forstås som den mest sannsynlige eller foretrukne løsningen. Enhver modellering så langt fram i tid er underlagt stor usikkerhet og at denne usikkerheten er følsom for økonomisk, samfunnsmessig, og teknologisk utvikling. Ifølge forfatterne gir scenarioene likevel muligheten til å utforske energi- og teknologiløsninger i 2050, bedre forstå viktige systemomfattende interaksjoner og identifisere faktorer som er felles på tvers av scenarioer.

3.3.2. Modellverktøy

Scenarioene er hovedsakelig modellert ved bruk av UK TIMES model (UKTM). UKTM optimaliserer til lavest mulig kostnad. Modellen er bygget ved bruk av modellgeneratoren TIMES og dekker alle utslipp i Storbritannia (herunder fra arealbruk) og det britiske energisystemet fra 2010 til 2060. Modellen bygger på sektorspesifikke antakelser om teknologikostnader, tilgjengelighet, ytelse, og byggerater, samt forutsetninger om framtidige fossile brenselpriser og etterspørsel etter energitjenester for sluttbrukersektorene. Basert på antakelser om inngangsdataene og den scenariospesifikke energietterspørselen identifiserer modellen den mest kostnadseffektive måten å oppfylle netto nullutslippsmålet på. Følgende antakelser beskrives som mest sentrale å variere:

- i hvilken grad ulike teknologier kan tas i bruk over hele landet,
- tilgang på ressurser og teknologier,
- antakelser for industrien og luftfart, da UKTM i utgangspunktet ikke omfatter bredden av mulige utslippstiltak for disse to sektorene.

Se Technical Annex (HM Government, 2021) for en oversikt over sentrale antakelser, herunder grad av ulik teknologibruk i de tre scenarioene. Andre antakelser er identiske på tvers av scenarioene. Eksempelvis er teknologi og ressurskostnader, deriblant prisen på fossile brenslere, like på tvers av scenarioene.

Fordeler ved UKT-modellen er, ifølge forfatterne, at den identifiserer den mest kostnadseffektive kombinasjonen av teknologi over tid og tar hensyn til samspillet mellom energiforsyning og sluttbrukersektorer over tid. Dette gjør det mulig å identifisere potensielt viktige teknologier på lang sikt og i hvilken rekkefølge ulike utslippsreducerende tiltak bør gjennomføres, gitt teknologitilgang. Forfatterne og the Sixth Carbon Budget Impact Assessment peker på følgende begrensninger ved modellen:

- Modellen tar ikke hensyn til usikkerhet knyttet til framtidige teknologikostnader og tilgjengelighet. Usikkerhet vises kun gjennom variasjon i resultatene til de ulike scenarioene.

- Teknologikostnadsreduksjonen over tid baseres på faste antakelser og modellen tar ikke hensyn til kostnadsreduksjon ved implementering av teknologier i større skala.
- Barrierer utenom kostnad og teknisk byggehastighet blir ikke vurdert i modellen. Det er heller ingen potensielle industrielle fordeler fra utvikling og implementering av nye lavkarbonteknologier som hensyntas. Modellen tar ikke hensyn til oppside- eller nedside-risiko i økonomien som følge av overgangen til et nullutslippssamfunn.
- Atferdsmessige og andre praktiske hensyn som kan resultere i et dyrere eller billigere utfall i scenarioene blir ikke tatt hensyn til, bortsett fra det som gjenspeiles i kostnader og byggehastigheter.
- Detaljgraden i modellen varierer mellom sektorer og i noen sektorer blir det kun gitt en overordnet framstilling av data. I sektorer der flertallet av utslippene ikke skyldes energiforbruk, for eksempel i jordbruket, gir UKTM en mindre detaljert modellering sammenlignet med sektorspesifikke modeller. Modellen er heller ikke romlig differensiert.
- Konkurransen om bruk av landområder, inkludert omdisponering fra andre bruksområder som jordbruk, vil sannsynligvis være et problem i scenarioene med høyere biomassetilgjengelighet. Disse interaksjonene er ikke tatt hensyn til i UKTM.

3.4. Nederland – scenarioer for å nå utslippsmål i 2030, 2040 og 2050

Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO) har gjennomført scenarioanalyser av hvordan Nederland kan nå utslippsmål for 2030 og 2050 (Scheepers, et al., 2022).¹⁶ Analysene er gjennomført på oppdrag for Ministry of Economic Affairs and Climate Policy i Nederland. Analysene hensyntar utslipp knyttet til energibruk og enkelte typer prosessutslipp fra industrien, og ser bort ifra andre typer utslipp (herunder utslipp fra husdyrhold og arealbruk).

3.4.1. Scenarioer

TNO har utarbeidet to scenarioer. I begge scenarioer er utslippene redusert med 55 prosent (uten LULUCF utslipp) i 2030, 77 prosent i 2040, og med 95 prosent i 2050.

Rapporten tar for seg to perspektiver på utslippsutviklingen fram mot 2030 og 2050:

- **ADAPT-scenarioet** går ut på at Nederland bygger videre på sine nåværende styrker, men samtidig sikrer en reduksjon i CO₂-utslipp på 95 prosent. I dette scenarioet blir den nåværende livsstilen ivaretatt og bærekraft ansees som mindre viktig av innbyggere og bedrifter. Andre europeiske land forsøker å nå 2050-målene, men samtidig bevare konkurransefordelene og minimere endringer i eksisterende systemer. Sentrale miljøkrav fra Europa endres lite, bortsett fra utslippsmål, noe som gir mer nasjonal frihet i energiovergangen, men også mindre samarbeid på europeisk nivå. Nasjonale og lokale myndigheter tar ledelsen med konkrete politiske tiltak. Scenarioet er avhengig av energibærere som ligner det vi har i dag, men som er CO₂-nøytrale.
- **TRANSFORME-scenarioet** går ut på at Nederland, i samarbeid med andre EU-medlemmer, leder an i kampen mot klimaendringer og for bærekraft. I dette scenarioet er Nederlands kunnskapsinfrastruktur og innovative forretningsmiljø sentrale elementer i utbyggelse av en ny, ren, og energieffektiv økonomi. Folks økte bevissthet om energiforbruk og karbonavtrykk fører til endret adferd, bærekraftige initiativer, og entusiasme for nye teknologier. Mer miljøbevisste borgere reduserer etterspørselen etter energi,

¹⁶ Analysene er en oppdatering av tidligere scenarioanalyser gjennomført i 2020 (Scheepers, et al., 2020).

mobilitet og miljøskadelige industri- og landbruksprodukter. Selskaper tar også initiativ til en ambisiøs transformasjon ved å erstatte eksisterende prosesser med bærekraftige alternativer. EU-medlemslandene er forpliktet til å samarbeide om å realisere overgangen og den nederlandske regjeringen har en stimulerende og muliggjørende rolle.

3.4.2. Modellverktøy

Scenarioanalysene er gjennomført med OPERA-modellen. Modellen er en teknologirik energisystem-optimaliseringsmodell. Forfatterne vurderer modellen som nyttig i utvikling av energiscenarioer for Nederland av to grunner:

1. Modellen dekker hele energisystemet i Nederland og reflekterer alle innenlandske utslipp og typer drivhusgasser knyttet til energisystemet.
2. Modellen simulerer energiforsyning og etterspørsel, og skiller mellom forskjellige tidsserier med sammenlignbar forsyning og etterspørsel.

Se rapporten for en omtale av antakelser.

3.5. EUs vitenskapsråd – scenarioer gitt utslippsbudsjett og utslippsmål

Ifølge EUs klimalov skal Europakommisjonen foreslå et klimamål for 2040 for EU samlet sett, innen første halvdel av 2024, i tillegg til et anslag på utslippsbudsjett for perioden 2030-2050. Det europeiske vitenskapsrådet for klimaendringer er opprettet med mål om å blant annet gi råd til Europakommisjonen om nivå på utslippsbudsjetter, og vurderer hvorvidt budsjettene oppfyller kravene i den europeiske klimaloven og Parisavtalen. Vitenskapsrådet har utarbeidet et estimat på EUs utslippsbudsjett for klimagasser for 2030 til 2050 med utgangspunkt i anbefalingene til Europakommisjonen om gjennomføring av scenarioanalyser (se Vedlegg A for anbefalingene) (European Scientific Advisory Board on Climate Change, 2023). Rådet anbefaler å holde EUs klimagassutslippsbudsjett innenfor en grense på 11 til 14 Gt CO₂e mellom 2030 og 2050.

3.5.1. Scenarioer

Scenarioene som ligger til grunn for utslippsbudsjettet, er innhentet gjennom en oppfordring til forskningsaktører om å dele relevante utslippsscenarioer. Vitenskapsrådet mottok over 1000 scenarioer fra globale, regionale og nasjonale modeller. Etter behandling¹⁷ og filtrering¹⁸ ble 36 scenarioer vurdert som relevante.¹⁹ Med utgangspunkt i de gjenværende scenarioene valgte vitenskapsrådet tre «ikoniske stier»:

- **Etterspørsels-orientert**²⁰: Scenarioet er et av scenarioene som vurderes i IPCC AR6, og kombinerer ambisiøs klimapolitikk med FNs bærekraftsmål. Scenarioet legger til grunn en mindre ressursintensiv livsstil og har det laveste endelige energibehovet i 2040.

¹⁷ Behandlingen besto av kvalitetskontroll og databehandling, en gjennomgang (vetting), sjekk av konsistens med 1,5°C på globalt nivå, omskalering og harmonisering, og sjekk av konsistens med EU-mål.

¹⁸ Filtringen innebar å fjerne scenarioer der det var knyttet stor usikkerhet til gjennomførbarhet

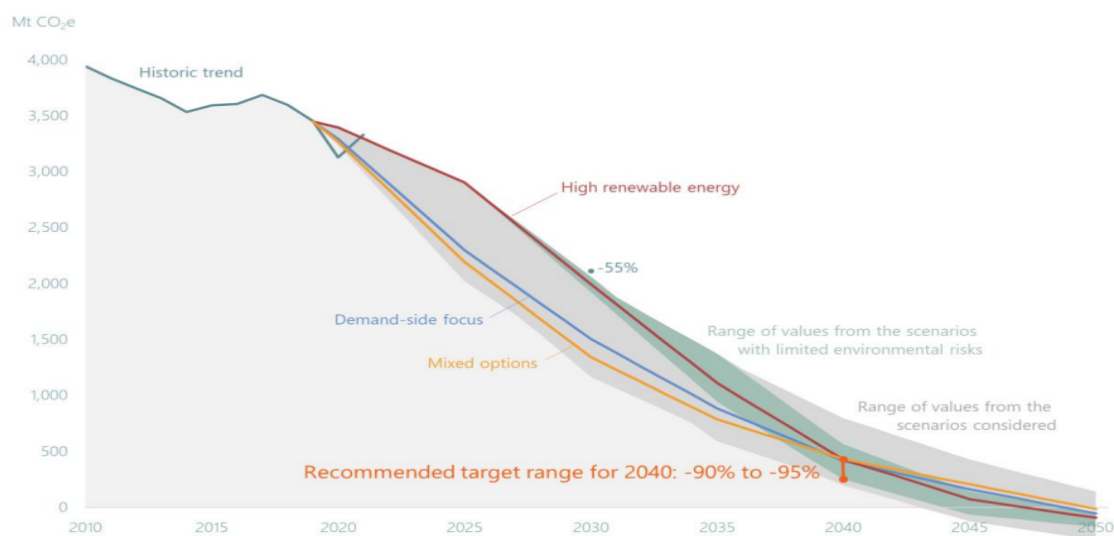
¹⁹ Samtlige scenarioer er tilgjengelig i en egen [database](#). For nærmere beskrivelse av sorteringsprosessen, se (Edward Byers, 2023).

²⁰ «Demand-side focus pathway».

- **Høy fornybar energi²¹**: Scenarioet legger vekt på troverdige utslippsreduksjoner på kort sikt og innebærer en høy grad av fornybar energi. Av de tre scenarioene, har dette den høyeste andelen av ikke-biomasse fornybar elektrisitet i 2040.
- **Blandende muligheter²²**: Scenarioet har lavest netto kumulative utslipp i perioden 2030 til 2050, sammenlignet med de to andre scenarioene. Scenarioet tilsier større grad av naturlig karbonopptak og økt energiforsyning fra kjernekraft.

Samtlige tre scenarioer, eller «ikoniske stier», tilsier en utslippsreduksjon på 90-95 prosent innen 2040 sammenlignet med utslipp i 1990, i tråd med vitenskapsrådets anbefaling om utslippsmål for 2040. Figur 3-3 viser utslippsbanene fram mot 2050, inkludert de tre ikoniske stiene og bredden i øvrige scenarioer.

Figur 3-3 Scenarioer av utslippsutviklingen i EU fram mot 2050, inkludert de tre ikoniske stiene



Kilde: European Scientific Advisory Board on Climate Change (2023)

Forfatterne identifiserer to fellesnevnerer på tvers av nær samtlige scenarioer:

- **Dekarbonisering av kraftsektoren**: Kraftsektoren har tilnærmet null utslipp innen 2040, kraftmiksen må bestå hovedsakelig av fornybare energikilder²³, og andelen elektrisitet i sluttetterspørselen må doubles fra i dag.
- **Oppskalering av andre, ikke-fossile energibærere**: Samtlige scenarioer fordrer bruk av ikke-fossile energibærere i sektorer som er vanskelige å elektrifisere, herunder industri og transport. Behovet for og etterspørselen etter ikke-fossile energibærere som bioenergi og hydrogen varierer på tvers av de «ikoniske stiene».

²¹ «High renewable energy».

²² «Mixed options pathway».

²³ Vind, sol, og vannkraft må stå for 70-90 prosent av energimiksen i 2040.

3.5.2. Modellverktøy

Samtlige 36 scenarioer er utarbeidet med utgangspunkt i følgende integrated assessment modeller (European Scientific Advisory Board on Climate Change, 2023):

- REMIND 2.1
- REMIND-MAgPIE 2.1-4.2
- REMIND 3.2
- MESSAGEix-GLOBIOM 1.1

REMIND er en multiregional modell som inkluderer økonomien og en detaljert representasjon av energisektoren. Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment (MAgPIE) er en global tildelingsmodell for arealbruk. En kobling av REMIND og MAgPIE muliggjør analyser av tilgangen på biomass til energiproduksjon, samt utslipp fra arealbrukssektoren (IAMC, 2023).

MESSAGEix-GLOBIOM består av flere modeller eller moduler, deriblant energimodellen MESSAGE og arealbruksmodellen GLOBIOM (NFGS, 2022). MESSAGE er i likhet med REMIND en generell likevektsmodell.

3.6. Frankrike – karbonprisbane gitt oppnåelse av utslippsmål i 2050

France Stratégie har i samarbeid med Alain Quintet utarbeidet et forslag til revidert skyggeprisen på CO₂ i Frankrike, på oppdrag for den franske statsministeren, beskrevet i rapporten «The Value for Climate Action» (France Stratégie, 2019). Formålet med analysen er å identifisere en karbonprisbane som sikrer at Frankrike oppnår karbonnøytralitet innen 2050. Karbonprisen skal reflektere den «samfunnsøkonomiske verdien av tiltak» for å redusere utslipp og tas i betraktning i alle samfunnsøkonomiske analyser. Målet er ikke at karbonverdien skal gjenspeile den samfunnsøkonomiske skadekostnaden av klimagassutslipp på fransk territorium. Dette skyldes at usikkerheten knyttet til verdsettelsen av skade er for stor, og det er utfordrende å begrense kostnadsfordelingen til et bestemt territorium på grunn av den globale karakteren av eksternaliteten.

3.6.1. Metodikk og modellverktøy

Karbonprisbanen er bestemt med utgangspunkt i modellsimuleringer, samt tre andre informasjonskilder, eller «ingredienser»:

- 1) Økonomisk teori
- 2) Teknologiske og tekno-økonomiske prognoseøvelser om tilgjengelige nullutslippsteknologier
- 3) Dialog med interessenter

Kommisjonen begrunner valg av flere informasjonskilder med at modellresultatene opplevdes som mindre relevante etter et visst punkt for utslippsreduksjoner.²⁴ Årsaken til dette er karbonprisen øker dramatisk. Kommisjonen konkluderer med at det er vanskelig å modellere muliggjørende politikk (arealbruk og utvikling spesielt), innovasjon og internasjonal koordinering, som viser mulighetene for dyp dekarbonisering av økonomien så langt fram i tid. Øvrige kilder brukes dermed til å justere karbonprisen (France Stratégie, 2019).

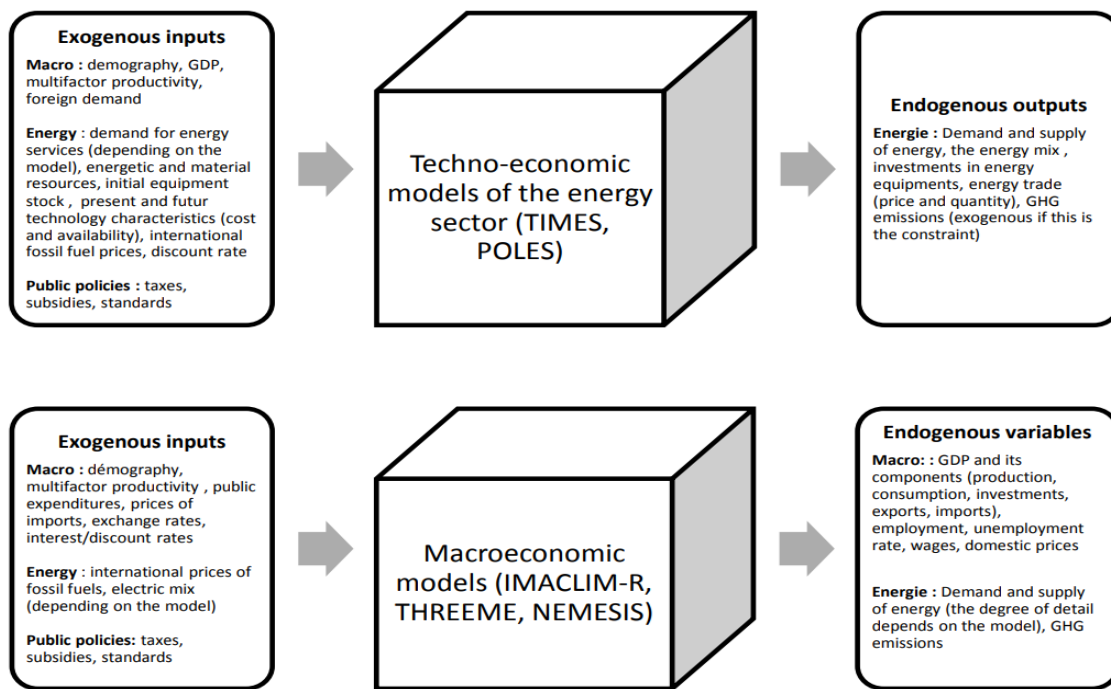
²⁴ Resultatene vurderes som mindre relevante når utslippene er redusert med mer enn rundt 25 prosent reduksjon fra 1990-nivået.

Kommisjonen brukt to tekno-økonomiske modeller, TIMES og POLES, og tre sektorale makroøkonomiske modeller, IMACLIM, ThreeME og NEMESIS, til å simulere framtidig karbonprisbane.²⁵

- **Tekno-økonomiske modeller** er såkalte «ingeniørmodeller» som ofte fokuserer på et bestemt felt. TIMES- og POLES-modellene gir en omfattende representasjon av energisystemet, inkludert produksjonsteknologier og teknologier knyttet til energibruk. Hovedformålet er å definere strukturen til energisystemet gitt den makroøkonomiske konteksten, tilgjengelighet på ressurser, offentlig politikk, og kunnskap om tilgjengelige teknologier. Modellene tar ikke hensyn til effekten av makroøkonomiske eller intersektorielle «tilbakemeldinger» (France Stratégie, 2019).
- **Makroøkonomiske modeller** gir en mer overordnet beskrivelse av teknologier og informasjon om virkemidlers virkninger på økonomien. Disse modellene tar hensyn til de økonomiske effektene av «tilbakemeldinger» og substitusjonsmekanismer mellom innsatsfaktorer og forbruksvarer. IMACLIM, ThreeME, og NEMESIS kan derfor belyse effekten på konkurranseevne, produksjon og sysselsetting.

Figur 3-4 gir en oversikt over inn- og utdata til de tekno-økonomiske og makroøkonomiske modellene. Se kapittel 4.1 i «The Value for Climate Action» for mer detaljerte beskrivelser av modellene.

Figur 3-4 Overordnet oversikt over modellenes endogene og eksogene variabler og output



Kilde: France Stratégie (2019)

Ovennevnte modeller tar i utgangspunktet kun hensyn til CO₂-utslipp forårsaket av energibruk, tilsvarende rundt 70 prosent av samlede utslipp i Frankrike i 2019. Det er derfor i tillegg tatt hensyn til utslipp fra ikke-energirelatert

²⁵ For en detaljert beskrivelse av de fem modellene, se «Inset 5 – Presentation of models utilized» i (France Stratégie, 2019).

landbruk, industriprosesser og avfallshåndtering. Samtidig er det begrensede modelleringsmuligheter knyttet til de to sistnevnte temaene. Utslipp knyttet til industriprosesser og avfallshåndtering er basert på antakelser om mulig reduksjoner, uten bruk av modeller. Ikke-energielaterte utslipp fra landbruket er vurdert ved hjelp av en tekno-økonomisk modell utviklet av National Institute for Agricultural Research (INRA) (France Stratégie, 2019).

3.6.2. Resultater – karbonprisbane for å nå nullutslippsmål for Frankrike 2050

Anslaget på karbonprisbane er som nevnt basert på fire informasjonskilder, hvorav modellresultatene utgjør én kilde. Modellene gir ulike baner for karbonprisen, illustrert i Anslag på skyggeprisen på karbon gitt ulike antakelser om karbonopptak Tabell 3-2. Samtlige modeller anslår skyggeprisen på karbon med utgangspunkt i to sett med ulike antakelser for karbonopptak i skog- og arealbrukssektoren. De blå tallene representerer karbonprisbanen i analysene som forutsetter et mer optimistisk anslag på opptak i skog- og arealbrukssektoren (95 MtCO_{2e}), mens de oransje tallene representerer karbonprisbanen med et mer konservativt anslag på opptak (75 MtCO_{2e}). Samtlige analyser gir en økende karbonprisbane fra i dag til 2050.

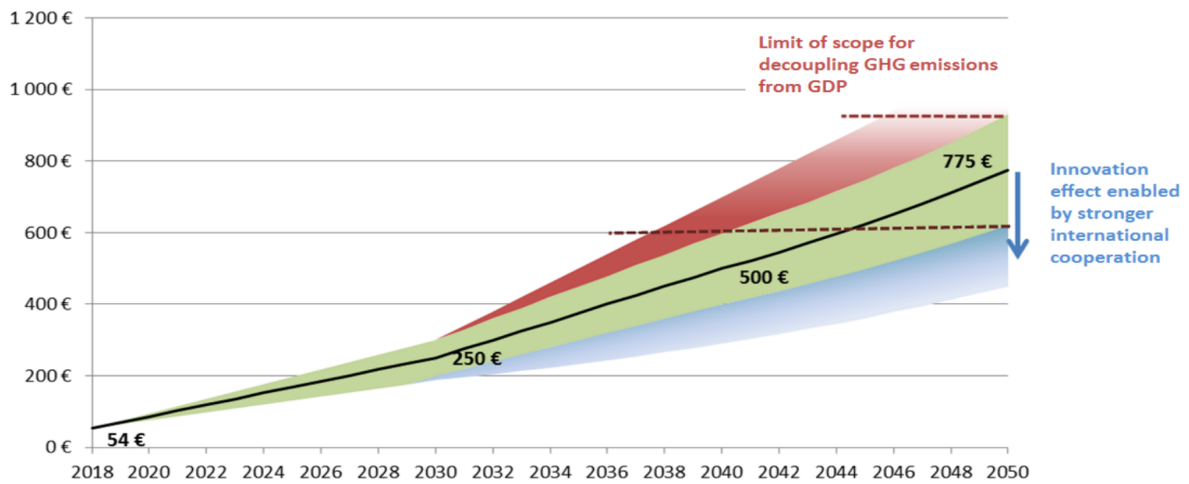
Tabell 3-2 Anslag på skyggeprisen på karbon gitt ulike antakelser om karbonopptak i skog- og arealbrukssektoren

		Shadow carbon price for sinks of between 75 MtCO _{2e} q (in orange) and 95 MtCO _{2e} q (in blue) (€ ₂₀₁₀ /tCO _{2e} q)									
		2030		2035		2040		2045		2050	
Techno-economic	TIMES	322	288	293	285	375	465	661	1,054	1 365	2,451
	POLES	253	351	384	547	575	845	907	1,400	1958	3,513
Macro-economic sectoral	IMACLIM*	168	168	168	168	168	168	440	489	1 453	3,132
	IMACLIM (myopic)**	228	--	288	--	537	--	1,337	--	3 328	--
	ThreeME	143	143	226	402	363	1 128	428	1,626	511	2,389
	NEMESIS	185	185	360	393	655	784	1,358	1,934	--	--
	Average	221		319		551		1,058		2,233	
	Minimum-maximum	143	351	168	547	168	1 128	428	1,934	511	3,513

Kilde: France Stratégie (2019)

Etter at de tre øvrige informasjonskildene, eller «ingrediensene», er hensyntatt, konkluderer (France Stratégie, 2019) med karbonprisbanen i Figur 3-5.

Figur 3-5 Skyggeprisbane på karbonpris

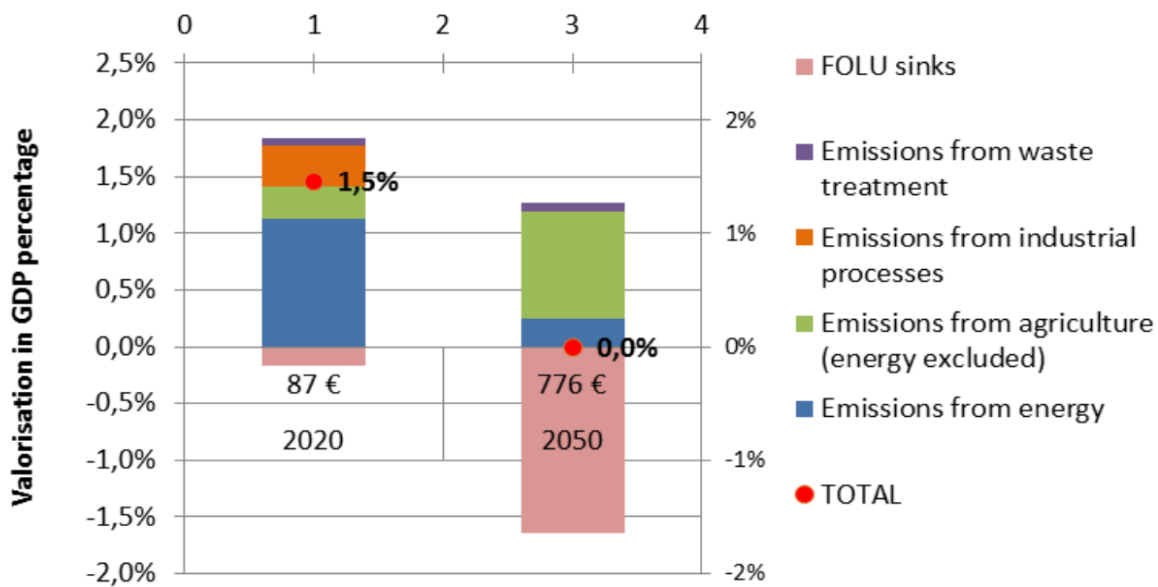


Kilde: France Stratégie (2019). Rødt felt indikerer risiko for karbonbudsjettet (forsinkelser i tiltak fra Frankrike og verden), Grønt indikerer rimelig spekter av usikkerheter på grunn av internasjonal kontekst, atferd og teknologisk utvikling, Blått indikerer mulighet for utvikling av omveltende teknologier takket være et forsterket internasjonalt samarbeid.

Ifølge den foreslåtte karbonprisbanen skulle karbonprisen i Frankrike vært 87 €tCO₂e i 2020. Den faktiske karbonprisen i Frankrike i 2020 var på 45 €tCO₂e og er ikke endret siden (Mengden, 2023).

Figur 3-6 illustrerer de gjenværende utslippene i 2050, samt fordelingen på sektor. For disse gjenværende utslippene er kostnaden ved utslippskutt høyere enn skyggeprisen. For å nå målet om netto nullutslipp kompenseres utslippene med karbonopptak i skog- og arealbrukssektoren.

Figur 3-6 Gjenstående utslipp og verdien av karbonopptak gitt karbonpris i 2020 og 2050, som andel av BNP



Kilde: France Stratégie (2019)

3.7. EU – scenarier av utslippsutvikling mot 2050

I 2018 publiserte EU kommisjonen rapporten «A Clean Planet for all», en langsiktig visjon for hvordan EU kan kutte utslipp i samsvar med målene i Parisavtalen (European Commission, 2018). Publikasjonen inneholder en scenarioanalyse som beskriver alternative veier for å nå 2050-målene. Scenariene forutsetter ikke måloppnåelse i 2050 og er derfor å betrakte som en framoverskuende scenarioanalyse.

3.7.1. Scenarier

De ulike scenariene kan kategoriseres i tre grupper, avhengig av hvor stor utslippsreduksjon som oppnås, i tillegg til et referanse-scenarier. Målet med analysene i hver scenariokategori er å vise hvordan ønsket reduksjonsnivå kan oppnås hvis den nåværende politiske rammen (presentert i referanse-scenariet) ytterligere forsterkes etter 2030. Dette gjøres ved å gradvis intensivere implementeringen av spesifikke teknologier (eller forbrukervalg i ett scenarier).

Referanse-scenarier: Referanse-scenariet gjenspeiler EUs nåværende kurs for avkarbonisering. Dette scenariet er basert på vedtatt og foreslått EU-politikk, herunder mål om energieffektivisering og fornybarandeler, og antakelser om teknologiutvikling. Antakelser om teknologiutvikling er basert på en litteraturgjennomgang og intervjuer med eksperter, representanter fra industrien, og interessenter om ulike sektorene.²⁶

Kategori 1 (fem scenarier): Scenariene i denne kategorien oppnår en temperaturøkning på «godt under» 2°C og reduserer klimagassutslipp med 80 prosent innen 2050, ekskludert karbonopptak, sammenlignet med 1990. Scenariene inkluderer betydelige forbedringer i energieffektivitet og utvikling av fornybar energi, samt et mer energieffektivt transportsystem. **Elektrifisering (ELEC)**, **Hydrogen (H2)** og **Power-to- X (P2X)** er scenarier som drives av avkarboniserte energibærere og undersøker virkningene av overgangen fra direkte bruk av fossile

²⁶ Se Alessia De Via (2018) for en beskrivelse av antakelser om teknologiutvikling.

brensler til null-/karbonnøytrale energibærere. De to andre scenarioene undersøker hvordan sterkere tiltak for **energieffektivitet** (EE) eller overgangen til en mer **sirkulær økonomi** i industrien og til dels transport (CIRC) kan bidra til utslippsreduksjoner.

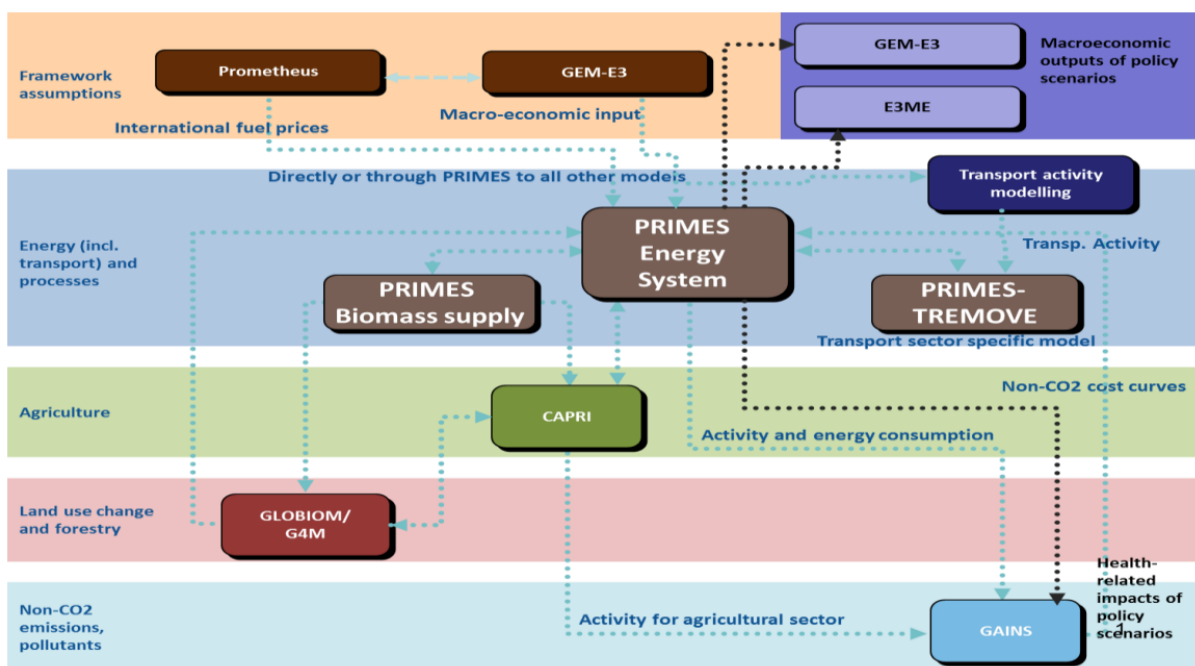
Kategori 2 (ett scenario): Scenarioet i denne kategorien er kalt **Kombinasjon** (COMBO) og kombinerer tiltak og teknologier fra de fem scenarioene i kategori 1. Scenarioet resulterer i reduserte utslipp, inkludert LULUCF og karbonopptak, på nesten 90 prosent sammenlignet med 1990.

Kategori 3 (to scenarioer): Scenarioene i denne kategorien oppnår 1,5°C målet og målet om netto nullutslipp. Det ene scenarioet, **1,5°C Teknisk** (1.5TECH), innebærer økt bidraget fra alle tilgjengelige teknologiske alternativer og er avhengig av økt biomasse kombinert med omfattende karbonfangst og -lagring (BECCS). Det andre scenarioet, **1,5°C Bærekraftig livsstil** (1.5LIFE), har mindre vekt på teknologiske alternativer, men legger til grunn mindre utslippsintensiv transportbruk blant forbrukere og økt sirkularitet i industrien (European Commission, 2018).

3.7.2. Modellverktøy

Scenarioanalysen ble hovedsakelig gjennomført ved bruk av modellpakken PRIMES-GAINS-GLOBIOM. Denne pakken dekker alle sektorer og klimagasser. Det inkluderer CO₂-utslipp knyttet til energiforbrenning, prosessutslipp av CO₂ (utslipp forårsaket av kjemiske reaksjoner), opptak og utslipp fra arealbrukssektoren (hovedsakelig skogbruk og jordbruk). Modellen omfatter også andre typer utslipp, deriblant metan og F-gasser fra landbruk, energi, avfall og industri. I tillegg brukes enkelte andre modeller, deriblant GEM-E3 (en generell likevektsmodell), E3ME (en makroøkonometrisk modell), og QEUST (en makroøkonomisk modell) til en tilknyttet makroøkonomisk analyse. Figur 3-7 illustrerer hvilke sektorer de ulike modellene dekker, samt sammenhengen mellom modellene.

Figur 3-7 Sammenheng mellom modeller



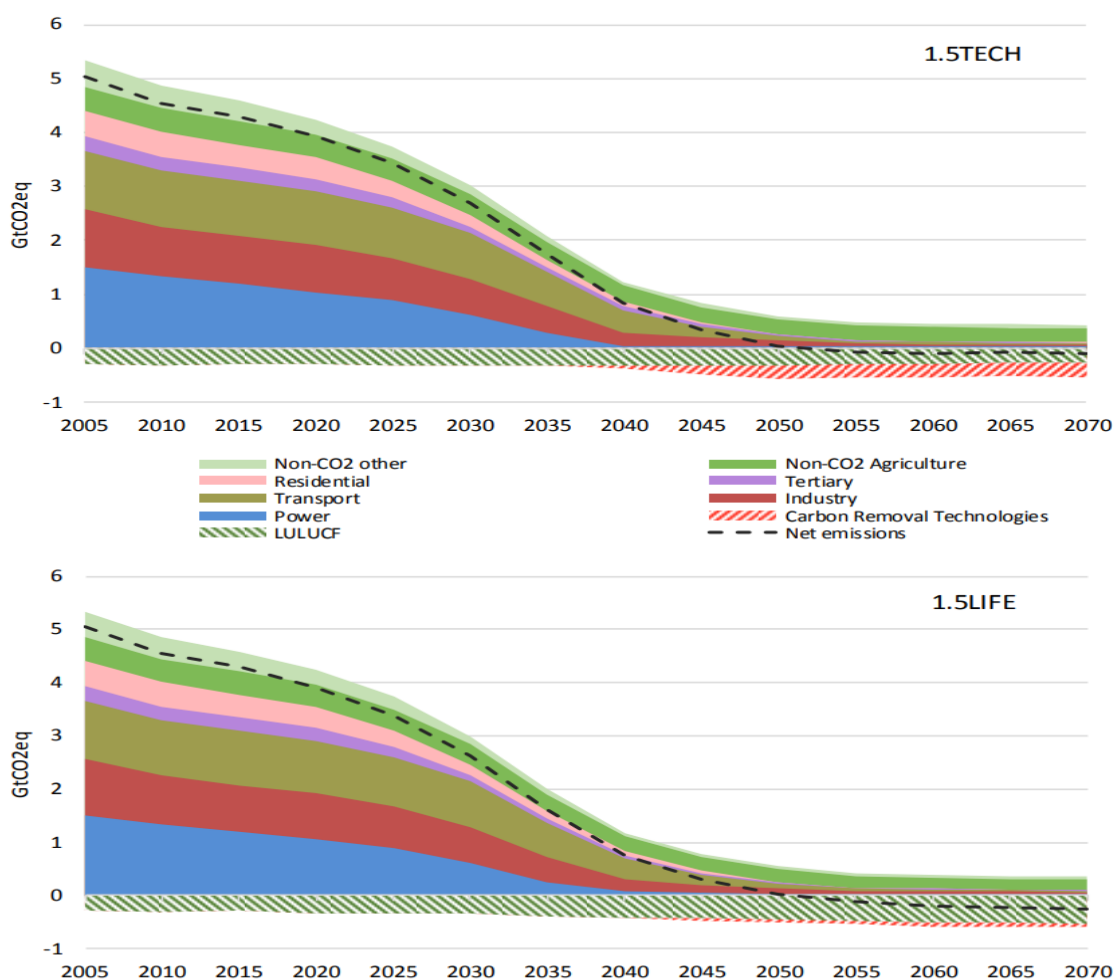
Kilde: European Commission (2018)

3.7.3. Resultater

Politikken og antakelsene som blir lagt til grunn i referanse-scenarieret er ikke tilstrekkelige for at EU skal nå de langsiktige målene i Parisavtalen. Ifølge referansebane-scenarieret vil utslippene kun reduseres med rundt 60 prosent innen 2050. Med dette som bakteppe utforsker øvrige scenarier ulik grad av måloppnåelse.

Utslippsutviklingen i de åtte scenariene er nesten identiske fram til 2030. Dette skyldes at forutsetningene om virkemidler i stor grad er like. Forskjellene er mer synlige etter 2030 og særlig nærmere 2050, når tilgangen på ulike energibærere og etterspørselsnivået differensieres mer, kostnadene for lavkarbonteknologi reduseres ytterligere avhengig av bruken, og eksisterende infrastruktur erstattes eller renoveres. Dette gjenspeiler også treggheten i energisystemet og økonomien som helhet. Prognosene avviker ytterligere etter 2050. Figur 3-8 illustrerer utslippsbanen for scenarieret i kategori 3.²⁷

Figur 3-8 Utslippsbaner for 1.5TECH, 1.5LIFE



Kilde: European Commission (2018)

²⁷ Se s. 386 og 387 i European Commission (2018) for utslippsbanene til øvrige scenarieret.

I modelleringen er teknologivalgene til bedrifter i kvotepliktige sektor styrt av (i) en karbonpris og (ii) den scenariospesifikke konteksten. Utviklingen i karbonprisen beskrives som en viktig drivkraft for å redusere utslippene i disse scenarioene, men ikke den eneste. Karbonprisen øker betydelig i alle scenarioer, og når 28 EUR/tCO₂ i 2030. I 2050 øker den til 250 EUR/tCO₂ i scenarioene med 80 prosent reduksjon (kategori 1) og 350 EUR/tCO₂ i scenarioene med netto nullutslipp (kategori 3) (European Commission, 2018).

Ifølge forfatterne har modellverktøyene som er brukt til scenarioanalysen en rekke begrensninger som tilsier at resultatene bør tolkes med varsomhet. Den framtidige utviklingen av økonomien, tilgjengeligheten, kostnadene og ytelsen til teknologier, imperfekte markeder, drivstoffpriser og kostnadskurver for utslippsreduksjon beskrives som noen av de viktigste usikkerhetsmomentene (European Commission, 2018).

PRIMES-scenarioene viser kostnadseffektive veier mot måloppnåelse, forutsatt fungerende energimarkeder og økonomiske aktørers vilje til å investere i nye teknologier. Andre hensyn er i begrenset grad hensyntatt, herunder eventuelle barrierer eller koordineringsutfordringer. Modellpakken PRIMES-GAINS-GLOBIOM fanger heller ikke opp tilgjengelighet og priser på råvarer og investeringer i transportinfrastruktur. Modellresultater fra makroøkonomiske modeller og en industrimodell ble brukt til å hensynta disse problemstillingene. Samtidig hensyntar ikke de makroøkonomiske modellene samtlige forhold som sannsynligvis vil påvirke EUs økonomi i de kommende tiårene, inkludert utviklingen i kunstig intelligens, digitalisering eller andre teknologiske trender. Referanse-scenarioet som ligger til grunn for øvrige scenarioer, hensyntar imidlertid forventet utvikling i befolkningen og arbeidsstyrken, og anslag om vekst i total faktorproduktivitet (European Commission, 2018).

3.8. Analyser av endret virkemiddelbruk på utslippsutvikling fram mot 2050

Vi har funnet et begrenset antall analyser av endringer i virkemidler på utslipp i et 2050-perspektiv. Under følger noen utvalgte eksempler.

3.8.1. OECD – Utslippsscenarioer med ulik karbonpris i Storbritannia

OECD²⁸ analyserer hvordan Storbritannia kan nå netto nullutslipp i 2050 med utgangspunkt i en scenarioanalyse (Pareliussen, Crowe, Kruse, & Glocker, 2022). Scenarioene er identiske, utover forskjeller i karbonprisen:

- **Scenario 1:** Karbonpris på GBP 100 i 2030 og GBP 189 i 2050.
- **Scenario 2:** Karbonpris på GBP 140 i 2030 og GBP 378 i 2050.
- **Scenario 3:** Karbonpris på GBP 280 i 2030 og GBP 568 i 2050.

Karbonprisen fanges opp i modellen ved bruk av en karbonskatt. For å analysere effekten av ulike karbonskatt på utslippsutviklingen, sammenlignes scenarioene med et «nullalternativ»-scenario²⁹. Analysen ser også på hvordan endret karbonskatt påvirker BNP, investeringer, sysselsetting og lønn.

Scenarioene er modellert med utgangspunkt i ThreeME modellen. Dette er en generell likevektsmodell utviklet av OFCE (French Economic Observatory at Sciences). Modellen er tidligere brukt på andre land.

²⁸ Organisation for Economic Co-operation and Development

²⁹ Working paperet omfatter ikke en beskrivelse av hvordan utslippene er framskrevet i nullalternativet.

3.8.2. Konjunkturinstitutet – Utslippsscenarioer gitt ulik økonomisk utvikling i Sverige

Konjunkturinstitutet bruker en generell likevektsmodell, Environmental Medium-Term Economic (EMEC) (versjon 4), til å utarbeide scenarioer for utslippsutviklingen i Sverige fram mot 2050 (Otto & Below, 2023).

Analysen består av tre scenarioer med ulik forutsetning for framtidig økonomisk vekst:

- **Scenario 1:** Lav økonomisk vekst: årlig økning i BNP på 1,4 prosent.
- **Scenario 2:** Moderat økonomisk vekst: årlig økning i BNP på 1,7 prosent.
- **Scenario 3:** Høy økonomisk vekst: årlig økning i BNP på 2,1 prosent.

Veksten i privat konsum, offentlig konsum, kapitaldannelse, og nettoeksport følger samme trend som BNP med lave verdier i scenario 1 osv. Øvrige antakelser er like på tvers av scenarioer, deriblant en årlig prisvekst på EUs utslippstillatelser på 6,2 prosent³⁰, i tillegg til antakelser om framtidig nasjonal politikk.³¹ Da EU-politiske og nasjonale antakelser er felles i alle scenarioene er det ikke mulig å analysere den isolerte utslippsendringen av disse antakelsene.

Scenarioene er ment som input for videre modellering av energibruk over tid av svenske Energimyndigheten og som input til Naturvårdsverkets utslippsframskrivinger. Forfatterne beskriver også hvordan EMEC modellen kan brukes til å vurdere effekten av klimapolitikk, eksemplifisert med et tak på CO₂ utslipp for Sverige.

3.9. New Zealand – framskrivinger av utslipp mot 2050

New Zealand har framskrevet utslipp mot 2050 i tråd med UNFCCs retningslinjer (Ministry for the Environment, 2022). Framskrivningene er ment å si noe om hvordan New Zealand ligger an i forhold til utslippsreduksjonsmålene sine. Framskrivningene tar utgangspunkt i eksisterende politikk og verdier satt i FNs klimapanelers fjerde (AR4) og femte (AR5) hovedrapport. Kun et begrenset antall politiske beslutninger fra New Zealands første utslippsreduksjonsplan (ERP) er inkludert, og det er ikke tatt hensyn til framtidige politiske beslutninger. Bruk av modeller og datagrunnlag til utslippsframskrivningene varierer på tvers av utslippssektorene (Ministry for the

³⁰ Årlig prisvekst på EU-utslippstillatelser fra 2005 til 2019 var 0,9 prosent.

³¹ **Justering av energi- og CO₂-avgifter.** Avgiftsratene er justert for spesifikke bensin- og dieselblandinger som brukes i transportsektoren. Ratene er oppjustert med to prosent årlig og justert ytterligere med endringer i relative priser på forbruksprodukter fra tidsperioden før. **Justering av rabatter på energi- og CO₂-avgifter som er innvilget til bedrifter.** Justeringen innebærer en utfasing av rabatter på CO₂-avgifter for bruk av fossil diesel og biodiesel i tungt maskineri. I tillegg er rabatter på energiavgiften for kull, gass, raffinerte petrokjemikalier og fyringsolje i ikke-tjenesteytende sektorer også faset ut. **Justering av standardene for fornybart drivstoff i tråd med den svenske 'Reduktionsplikten' (SFS, 2017).** Justeringen innebærer økt volum av fornybar energi i bensin- og dieselblandinger. **Justering av kapitalskatterater.** Justeringene hensyntar endringer i støttenivåene under den svenske 'Klimatlivet'-politikken og den svenske 'Industrilivet'-politikken.

Environment, 2022b). Det er utarbeidet to utslippsframskrivninger: én basert på «AR4-verdier» og én basert på «AR5-verdier». Begge framskrivingene viser «Gross emissions»³² og «Target accounting emissions»³³ fram mot 2050. Figur 3-9 viser utslippsbanen fram mot 2050 basert på AR5-verdier.

Figur 3-9 New Zealands historiske og anslåtte klimagassutslipp fra 1990 til 2050 ved bruk av AR5-verdier



Kilde: Ministry for the Environment (2022)

³² Utslipp fra alle sektorer, unntatt utslipp og opptak fra skog- og arealbruk.

³³ Utslipp fra alle sektorer, inkludert utslipp og opptak fra skog- og arealbruk.

4. Analyser av utslippsutvikling mot 2050 i Norge

Det foreligger flere analyser som tar for seg utviklingen i energisammensetningen fram til 2050,³⁴ mens vi finner ingen nylige studier eller analyser med hovedformål å anslå utslippsutviklingen for Norge fram mot 2050. Tre relevante analyser inkluderer likevel utslippsframskrivninger fram mot 2050. Norges Bank (2023) har analysert økonomiske konsekvenser av ulike klimascenarioer. DNV (2022) har laget en «best-estimate» prognose på energisammensetning i 2050. Statistisk sentralbyrås anslag på norske utslippsbaner fram mot 2050 er fra 2013.

Tabell 4-1 gir en oversikt over analyser som inkluderer Norges utslippsutvikling fram mot 2050, og tilhørende modeller.

Tabell 4-1 Analyser som inkluderer Norges utslippsutvikling fram mot 2050, og tilhørende modeller

Aktør	Analyse	Modeller
Norges Bank (2023)	Scenarioframskrivninger basert på utslippsmål (framoverskuende)	REMIND-MAgPIE, MESSAGEix-GLOBIOM og GCAM (integrated assessment modeller) og NiGEM (makroøkonomisk modell)
DNV (2022)	«Best estimate» prognose (framoverskuende)	Energy Transition Outlook - integrert dynamisk modell
SSB (2013)	Scenarioframskrivninger basert på utslippsmål (tilbakeskuende) og scenarioframskrivninger basert på satt karbonprisbane (framoverskuende)	Scenarier fra TIMES/MARKAL og MSG-TECH (generell likevektsmodell)

4.1. Norges Bank

Norges Bank (2023) har vurdert modeller og scenarier utarbeidet av NGFS³⁵, og hvordan disse potensielt kan brukes som referanser i prognoser for global karbonpris og endringer i norsk og global energisammensetning. Norges Bank bruker resultatene til å se effekter på BNP, konsum, inflasjon, og renter, for verden og for Norge.

4.1.1. NFGS scenarier basert på tre modeller

NGFS sine scenarier inngår i et prosjekt for å gi sentralbanker og andre finanstilsyn et enhetlig rammeverk for å vurdere kostnadene ved klimaendringer og omstilling. NGFS bruker tre ulike modeller for å framskrive seks ulike klimascenarier; MESSAGE, REMIND, og GCAM. Hver modell er basert på ulike trekk ved virkeligheten, slik at de ulike scenarioene fra modellene gir et inntrykk av bredden av mulige utfall. MESSAGE og REMIND er generelle likevektsmodeller med intertemporal optimering, mens GCAM er en partiell likevektsmodell.³⁶ Samtlige modeller er såkalte «Integrated Assessment Models» (IAM). IAM-modeller brukes til å simulere klima,

³⁴ For eksempel har Statskraft (2022) i rapporten «Low Emissions Scenario» beskrevet energisammensetning i 2050 i et lavutslippsscenario, hvor globale utslipp tilsvarer at verden når togradersmålet. SINTEF har også laget ulike rapporter som tar for seg norsk energisammensetning fram mot 2050, blant annet basert på globale utslipp (SINTEF, 2017; SINTEF, 2020; SINTEF, 2019).

³⁵ Network for Greening the Financial System

³⁶ For nærmere forklaring om modellene, se omfattende beskrivelser i notatet.

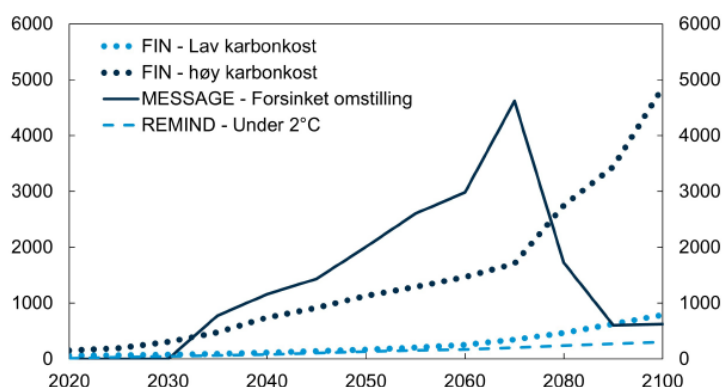
energisammensetning og økonomisk vekst under ulike forutsetninger om økonomisk politikk. De tre modellene er anerkjente blant klimaforskere, og brukes blant annet til å lage flere av scenarioene som inngår i IPCC sine rapporter.

NGFS bruker framskrivningene fra REMIND og MESSAGE som input i en makroøkonomisk modell, NiGEM³⁷. NiGEM gir økonomiske framskrivinger for enkeltland og regioner.

Den viktigste politikkvariabelen i simuleringene er den globale karbonprisen – høyere karbonpris gir lavere utslipp. Ifølge Norges Bank reflekterer prisen hvor vanskelig omstillingen er i de ulike scenarioene. Jo vanskeligere omstillingen blir, jo mer må man øke prisen for å få ned utslippsnivået. Som eksempel – i scenarioet «forsinket omstilling», må prisen økes svært kraftig fra 2030 for å nå utslippsmålet i scenarioet, sammenlignet med scenarioet hvor alle land gjør en koordinert klimainnsats fra start. De ulike modellene gir svært ulike føringer på hvor høy karbonprisen må være for å nå spesifikke utslippsmål, noe som også illustrerer usikkerheten i de ulike scenarioene.

Figur 4-1 illustrerer forskjellen i global karbonpris i to av scenarioene, samt Finansdepartementets øvre og nedre karbonpris-baner.

Figur 4-1 Global karbonpris (2010-dollar) i to ulike NGFS-scenarier, samt øvre og nedre karbonpris-baner fra Finansdepartementet (FIN)



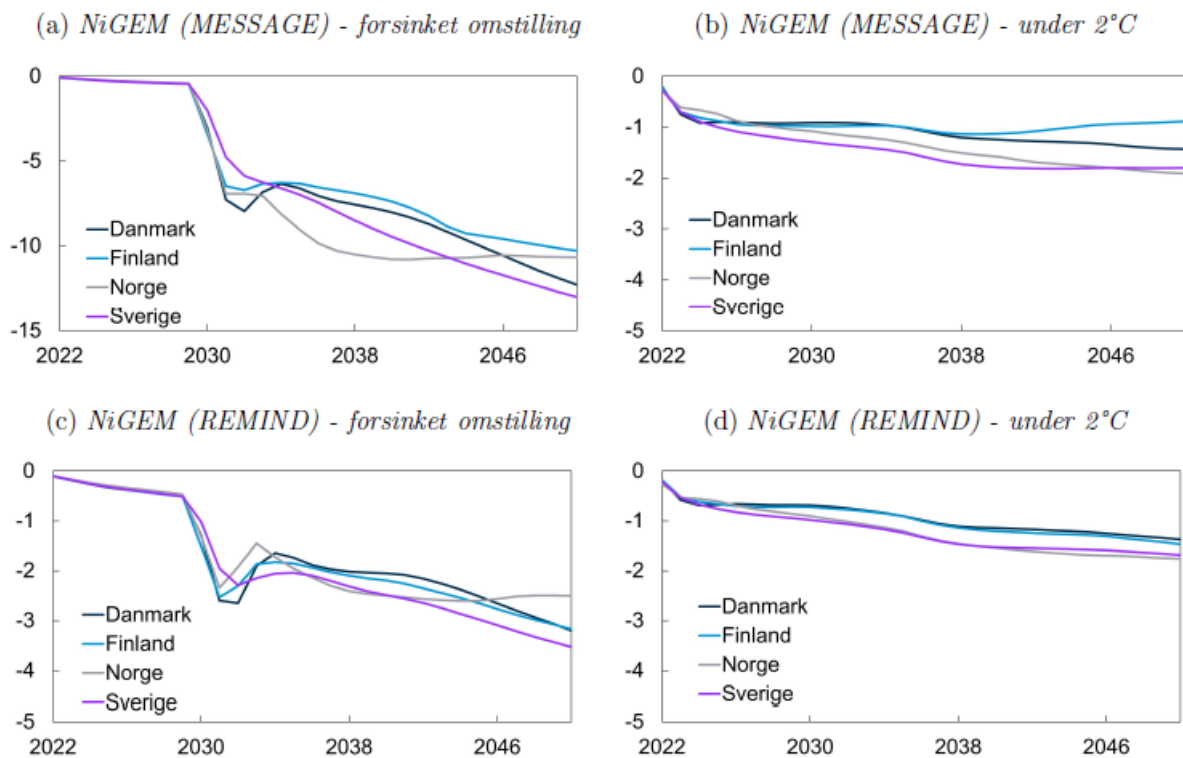
Kilder: Finansdepartementet, NGFS, og Norges Bank (2023).

4.1.2. Bruk av NFGS scenarier til å se på nordiske land og Norge

Norges Bank vurderer også hvordan modellene kan brukes til å se på norske forhold. Ved hjelp av en algoritme kan framskrivningene for ulike regioner brytes ned til framskrivinger for enkeltland. Disse skal ikke tolkes som en framskrivning for enkeltland, men snarere en skalering av de regionale framskrivningene. Med unntak av at man bruker historiske data, tar framskrivningene ikke hensyn til nasjonale særegenheter. Norges Banks vurdering er at dette gjør at framskrivningene for Norge dermed er uforholdsmessig sterkt preget av hvilken region Norge tilhører. Ettersom Norge tilhører ulike regioner i de ulike modellene, gjør dette også at framskrivinger for Norge spriker betydelig mellom scenarier laget med ulike modeller. Se Figur 4-2 for en illustrasjon av påvirkning på BNP for Norge og andre land i Norden under ulike klimascenarier.

³⁷ National Institute Global Econometric Model.

Figur 4-2 BNP-effekter i ulike klimascenarioer for nordiske land. Avvik i prosent fra bane uten klimaeffekter.



Kilder: Norges Bank og NGFS (2023).

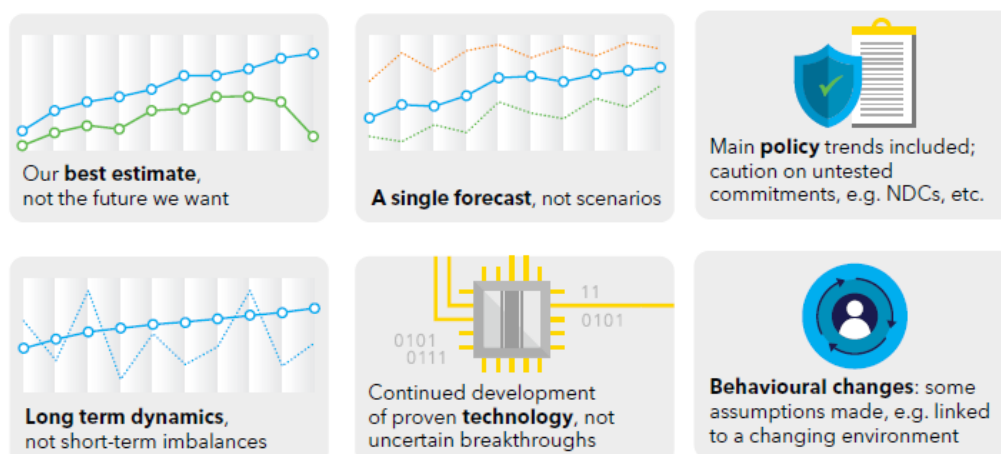
Notatet ser også på framskrivninger for norsk energisammensetning. Vår forståelse fra notatet og ytterligere undersøkelser er at det også er mulig å bryte ned framskrivninger på karbonpris og utslipp på region- og landnivå, på lignende måte som BNP-effekter og energisammensetning. Dette er ikke inkludert i notatet.

Forfatterne konkluderer med at scenarioene fra modellene er egnet til å brukes som referanse når Norges Bank skal vurdere forventet utvikling i global karbonpris og energisammensetning. Likevel er scenarioene for overordnede til å gi detaljerte vurderinger av norsk økonomi, da modellene i for liten grad er tilpasset norske forhold. Videre er resultatene fra de ulike modellene svært forskjellige, og Norges Bank mener dette illustrerer usikkerheten i hvordan klimaendringene vil slå ut i økonomien.

4.2. DNV

DNV (2022) har i rapporten «Energy Transition Norway 2022» framskrevet energibruk i Norge mot 2050. DNV beskriver deres analyse som en «best-estimate» prognose av framtiden. Som del av analysen har DNV modellert norske utslipp i ulike sektorer. Figur 4-3 illustrerer grunnleggende karakteristikk ved prognosen.

Figur 4-3 Nøkkelkarakteristikker av framskrivinger og metode i «Energy Transition Norway 2022».



Kilde: DNV (2022)

4.2.1. «Energy Transition Outlook» modell

Framskrivingene er gjort med DNVs «Energy Transition Outlook» modell³⁸. Modellen er en integrert dynamisk modell, sammensatt av tilbud- og etterspørselsforhold i ulike markeder. Input i modellen er i stor grad basert på eksisterende data, for eksempel fra IEA. DNV har gjort antakelser for framtidig utvikling basert på ekspertvurderinger og historisk data. Det er en deterministisk modell som framskriver energiomstillingen globalt og i ti regioner. I framskrivingene tar DNV hensyn til effekten av antatte justeringer i virkemidler, for eksempel økning i karbonpris og støtte til fornybar energi.

4.2.2. Norske utslipp utledet fra energisammensetning

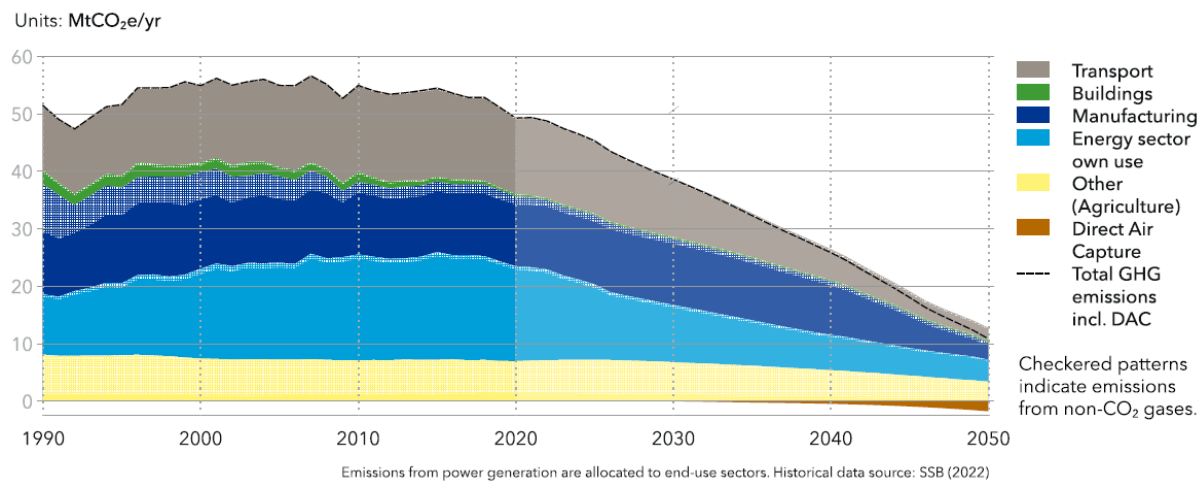
Modellen er først og fremst laget for å gi resultater for verden eller større regioner, men ved å tilpasse modellen har DNV også laget spesifikke framskrivinger for Norge. Tilpasninger til det norske markedet er gjort med hjelp av antakelser om norske forhold, basert på intervjuer med ulike eksperter, blant annet politikere og næringslivsledere. Modellen inkluderer dermed sannsynlig utvikling i Norge innen teknologi og politikk, og tilknyttede kostnader. Modellen er også i noe grad tilpasset norsk atferd.³⁹

Utsliffsframskrivingene er basert på framskrivingene for energisammensetning, ettersom prognosemodellen fokuserer på energisammensetning. Energi-relaterte utslipp i 2050 er dermed utledet fra energisammensetning i 2050. For Norge har DNV også framskrevet øvrige utslipp, basert på overordnede antakelser om muligheter for dekarbonisering. DNV har også inkludert framskrivinger av «negative utslipp», i form av karbonfangst- og lagring. Figur 4-4 viser utsliffsframskrivinger i norske sektorer fram mot 2050. Det er verdt å merke seg fra figuren at Norge ikke vil nå målet om netto null utslipp i 2050 ifølge DNV sin prognose.

³⁸ Se Annex A5 i rapporten «Energy Transition Outlook 2022» for en mer detaljert forklaring av modellen. Rapporten kan lastes ned [her](#).

³⁹ Se side 8 og 9 i rapporten fra DNV for mer detaljert informasjon om hvordan modellen er tilpasset norske forhold.

Figur 4-4 Utslipp og CO₂-fangst i ulike sektorer i Norge fram mot 2050



Kilde: DNV (2022)

4.3. Statistisk sentralbyrå

SSBs (2013) rapport *Kostnadseffektive tilpasninger til togradersmålet i Norge og EU fram mot 2050*, gjennomført på oppdrag for Finansdepartementet, hadde til formål å belyse hvordan forskjeller i næringsstruktur påvirker utslipp i både Norge og EU fram mot 2050. Rapporten anslår virkninger for norsk økonomi og norske utslipp med og uten en internasjonal klimaavtale.

4.3.1. Modellverktøy: IEA-beregninger og SSB-modellen «MSG-TECH»

Rapporten er basert på scenarier publisert av IEA⁴⁰, samt analyser med modellen MSG-TECH, som er utviklet av SSB. IEA-beregningene blir brukt til å finne utslippsbaner i et scenario hvor klimaproblemet løses gjennom internasjonale avtaler. MSG-TECH er i stedet utviklet for å beregne utslipp i et scenario med såkalt «unilateral» klimapolitikk, altså et scenario med fravær av internasjonale klimaavtaler.

IEAs scenarier er beregnet med TIMES/MARKAL-modeller. Vår forståelse er at videreutviklingen av denne modellkombinasjonen i dag kalles TIMES. I SSBs publisasjon er modellene beskrevet som systemoptimaliseringsmodeller, mens dagens TIMES oftest er betegnet som en energisystemmodell.

MSG-TECH er en generell likevektsmodell som kun tar for seg Norge i et tilfelle med unilateral klimapolitikk. Det innebærer at konsekvenser av utenlandsk klimapolitikk behandles eksogent. MSG-TECH antar en uniform karbonprisbane for alle innenlandske utslippskilder på nivå med karbonprisen i IEA-scenariene nevnt ovenfor. Dette tilsvarer marginalkostnaden for utslipp, og innenlandske utslippskutt vil kun bli gjennomført dersom kostnaden er lavere enn karbonprisen.

Vi kjenner ikke til at MSG-TECH-modellen er brukt i nyere tid.

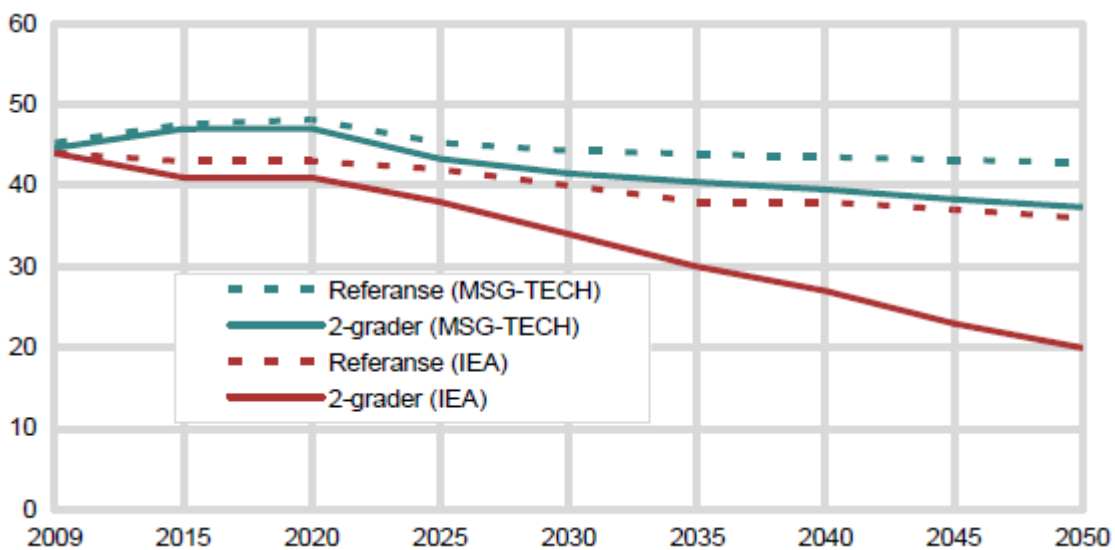
⁴⁰ IEA-publikasjonene er [Energy Technology Perspectives \(2012\)](#) og [Nordic Energy Technology Perspectives \(2013\)](#)

4.3.2. Utslippsbaner med og uten internasjonal klimaavtale

SSB har anslått de mest kostnadseffektive utslippsbanene for Norge med og uten internasjonal avtale, og sammenlignet disse med referansebaner. Referansebanene legger til grunn at landene kun gjennomfører allerede annonserte løfter – på analysetidspunktet tilsvarte dette en temperaturstigning på fire grader.

IEA-scenariene gir kostnadseffektiv utslippsbane *med* internasjonal avtale, hvor den globale karbonprisen tilsvarer at verden når et mål om to graders oppvarming. MSG-TECH brukes til å analysere et scenario *uten* internasjonal avtale. Utslippsbanen tilsvarer en unilateral kostnadseffektiv løsning for Norge, hvor den nasjonale karbonprisen er satt til å være lik som i IEA-scenariene. Scenariene gir ulike kostnadseffektive utslippsbaner⁴¹, som vist i Figur 4-5.

Figur 4-5 Utslippsscenarioer for Norge med (IEA) og uten (MSG-TECH) internasjonale klimaavtaler. Millioner tonn CO₂



Kilde: SSB (2013)

Figuren viser at utslippsreduksjonene er langt større med IEA-scenariene, hvor verden koordinerer seg gjennom en internasjonal klimaavtale. Karbonprisene er lik i de tograders-scenariene, slik at studien dermed illustrer at utslippskutt vil være mye billigere med koordinert klimaarbeid. Det er likevel viktig å merke seg at scenariene ikke kan sammenlignes direkte, ettersom det er ulike modeller som ligger til grunn.

⁴¹ SSB anslår også utslipp fordelt på sektor i de ulike scenariene.

Referanser

- Alessia De Via, I. K. (2018). *Technology pathways in decarbonisation scenarios*. ASSET. Hentet fra https://energy.ec.europa.eu/system/files/2018-08/2018_06_27_technology_pathways_-_finalreportmain2_0.pdf
- BEIS. (2021). *Impact Assessment for the sixth carbon budget*. Department for Business, Energy and Industrial Strategy. Hentet fra https://www.legislation.gov.uk/ukia/2021/18/pdfs/ukia_20210018_en.pdf
- DNV. (2022). *Energy Transitions Norway 2022*.
- Edward Byers, E. B. (2023). *SCENARIOS PROCESSING, VETTING AND FEASIBILITY ASSESSMENT FOR THE EUROPEAN SCIENTIFIC ADVICORY BOARD ON CLIMATE CHANGE*. International Institute for Applied Systems Analysis. Hentet fra https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/18828/1/IIASA-PIK%20report%20for%20ESABCC_final%20%282%29.pdf
- EIA. (2021). *World Energy Outlook 2021*. International Energy Agency (EIA). Hentet fra <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>
- Energistyrelsen. (2022). *Forudsætninger for KP22-scenarier - Affald*. Energistyrelsen. Hentet fra https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/affald_kp22-scenarier_23-09-2022.pdf
- Energistyrelsen. (2022). *Forudsætninger for KP22-scenarier - Landbrug, jorder og skov*. Energistyrelsen. Hentet fra https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/landbrug_jorder_og_skov_kp22-scenarier_23-09-2022.pdf
- Energistyrelsen. (2022). *Forudsætninger for KP22-scenarier - Transportefterspørgsel*. Energistyrelsen. Hentet fra https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/metodebeskrivelse_for_kp22-scenarier_23-09-2022.pdf
- Energistyrelsen. (2022). *Metodebeskrivelse for KP22-scenarier*. Energistyrelsen. Hentet fra https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/metodebeskrivelse_for_kp22-scenarier_23-09-2022.pdf
- Energistyrelsen. (2022). *Resultater for KP22-scenarier*. Energistyrelsen. Hentet fra https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/resultater_for_kp22-scenarier_23-09-2022.pdf
- European Commission. (2018). *A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. EUROPEAN COMMISSION. Hentet fra https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/depth-analysis-support-com2018-773-clean-planet-all-european-strategic-long-term-vision_en
- European Scientific Advisory Board on Climate Change. (u.d.). *About the Advisory Board*. Hentet fra European Scientific Advisory Board on Climate Change: <https://climate-advisory-board.europa.eu/about>
- European Scientific Advisory Board on Climate Change. (2022). *Towards a climate-neutral and climate-resilient EU energy infrastructure: Advice on scenario guidelines for trans-European networks for energy*. European Scientific Advisory Board on Climate Change. Hentet fra <https://climate-advisory->

board.europa.eu/reports-and-publications/towards-a-climate-neutral-and-climate-resilient-eu-energy-infrastructure-recommendations-to-acer/advice-on-scenario-guidelines-for.pdf/@@display-file/file

European Scientific Advisory Board on Climate Change. (2023). *Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030–2050*. European Scientific Advisory Board on Climate Change. Hentet fra <https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and-publications/scientific-advice-for-the-determination-of-an-eu-wide-2040>

European Scientific Advisory Board on Climate Change. (2023). *Setting climate targets based on scientific evidence and EU values: Initial advice to the European Commission on an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for the 2030–2050 period*. Hentet fra <https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and-publications/setting-climate-targets-based-on-scientific-evidence-and-eu-values-initial-recommendations-to-the-european-commission>

Feenstra, J. F., Burton, I., Smith, J. B., & Tol, R. S. (1998). *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*. UNEP.

Fæhn, T., Isaksen, E., & Rosnes, O. (2013). *Kostnadseffektive tilpasninger til togradersmålet i Norge og EU fram mot 2050*. Statistisk Sentralbyrå.

Finansdepartementet. (2023). *Nasjonalbudsjettet. Meld. St. 1 (2022 – 2023)*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/85ceadfcc04b4f23b291223280efc83f/no/pdfs/stm202220230001000dddpdfs.pdf>

France Stratégie. (2019). *The value for climate action*. France Stratégie. Hentet fra <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-the-value-for-climate-action-final-web.pdf>

HM Government. (2021). *Net Zero Strategy: Build Back Greener*. Department for Energy Security & Net Zero; Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Hentet fra <https://www.gov.uk/government/publications/net-zero-strategy>

IAMC. (2023). *Model Documentation - REMIND-MAGPIE*. Hentet fra IAMC wiki: https://www.iamcdocumentation.eu/index.php/Model_Documentation_-_REMIND-MAGPIE#REMIND-MAGPIE

Johansen, R., Landsem, J., & Solheim, H. (2023). *Hvor mye koster ukoordinert klimapolitikk? To modeller - to svar*. Norges Bank.

KLD. (2023). *Norway's Eight National Communication. Under the Framework Convention on Climate Change*. Norwegian Ministry of Climate and Environment.

Klimautvalget 2050. (2023). *Omstilling til lavutslipp. Veivalg for klimapolitikken mot 2050*. Klima- og miljødepartementet.

Mengden, A. (2023). *Carbon Taxes in Europe*. Hentet fra TAX FOUNDATION: <https://taxfoundation.org/data/all/eu/carbon-taxes-in-europe-2023/>

- Ministry for the Environment. (2022). *New Zealand's projected greenhouse gas emissions to 2050*. Ministry for the Environment - Manatū Mō Te Taiao. Hentet fra <https://environment.govt.nz/facts-and-science/climate-change/new-zealands-projected-greenhouse-gas-emissions-to-2050/>
- Ministry for the Environment. (2022b). *New Zealand's Fifth Biennial Report. Under the UNFCCC*. Ministry for the Environment. Hentet fra <https://environment.govt.nz/assets/publications/New-Zealands-Fifth-Biennial-Report.pdf>
- NFGS. (2022). *Climate Scenarios Database. Technical Documentation V3.1*. NFGS. Hentet fra https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2022/11/21/technical_documentation_ngfs_scenarios_phase_3.pdf
- Otto, V. M., & Below, D. v. (2023). *The Environmental Medium-Term Economic (EMEC) Model: Version 4*. Konjunktur Institutet. Hentet fra <https://www.konj.se/english/publications/working-papers/working-paper/2023-05-16-the-environmental-medium-term-economic-emec-model-version-4.html>
- Pareliussen, J., Crowe, D., Kruse, T., & Glocker, D. (2022). *Policies to reach net zero emissions in the United Kingdom*. OECD Economics Department. Hentet fra <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/f6625f01-en.pdf?expires=1695910221&id=id&acname=guest&checksum=C13F5B70D0FA08F139840F9A4EDB14DD>
- Regulators, E. U. (2023). *Framework Guidelines for the joint TYNDP scenarios are to be developed by ENTSO for Electricity and ENTSO for Gas, termed as "TYNDP Scenarios Guidelines*. European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER). Hentet fra https://www.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/Framework_Guidelines/Framework%20Guidelines/FG_For_Joint_TYNDP_Scenarios.pdf
- Scheepers, M., Palacios, S. G., Janssen, G., Botero, J. M., Stralen, J. v., Santos, C. O., . . . West, K. (2022). *Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050 – Scenario update and analysis of heat supply and chemical and fuel production from sustainable feedstocks*. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO). Hentet fra <http://resolver.tudelft.nl/uuid:5c7f19fb-9e6d-4830-9ad6-1e83d1355ece>
- Scheepers, M., S. Palacio, E. J., Nogueira, L., Rutten, L., Stralen, J., Smekens, K., & West, K. (2020). *Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050*. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO). Hentet fra <http://resolver.tudelft.nl/uuid:d6a9ef05-16ff-4852-a722-9ac99e2cabfd>
- SFS. (2017). *Lag om reduktion av växthusgasutsläpp från vissa fossila drivmedel*. SFS (Swedish Code of Statutes). Hentet fra https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-20171201-om-reduktion-av-vaxthusgasutslapp_sfs-2017-1201/
- SINTEF. (2017). *Norwegian Energy Road Map 2050: Hvilke tiltak og virkemidler bør belyses?*
- SINTEF. (2019). *Scenario quantification for the power sector in Europe and Norway until 2050*.
- SINTEF. (2020). *Framework conditions, policies and projections for clean energy export from Norway*.
- Skjeflo, S. W., & Ytreberg, N. (2023). *Virkemiddelvurderinger i utslippsframskrivninger. Rapport 2023:03*. CICERO Senter for klimaforskning.

Statkraft. (2022). *Low Emissions Scenario*.

TCFD. (2017). *Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures*. Task Force on Climate-Related Financial Disclosures. Hentet fra <https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/FINAL-2017-TCFD-Report-11052018.pdf>

Wråke, M., Karlsson, K., Kofoed-Wiuff, A., Bolkesjø, T. F., Lindroos, T. J., Hagberg, M., . . . Koljonen, T. (2021). *NORDIC CLEAN ENERGY SCENARIOS*. Nordic Energy Research. Hentet fra <https://www.nordicenergy.org/publications/nordic-clean-energy-scenarios-solutions-for-carbon-neutrality/>

Vedlegg A

Anbefalinger fra EU om gjennomføring og bruk av scenarioanalyser

EU etablerte et europeisk vitenskapsråd for klimaendringer i 2021.⁴² Rådet leverer vitenskapelig kunnskap, ekspertise og råd om klimaendringer til EU. Rådet arbeider med å identifisere politiske veier og alternativer for å oppnå redusert klimagassutslipp i Europa på en rask og kostnadseffektiv måte. I tillegg indentifiserer rådet mangler i dagens politiske strategier og kommer med forslag til tiltak for å forbedre eksisterende politikk. Rådet skal også gi råd om nivå på utslippsbudsjetter, og vurderer hvorvidt budsjettene oppfyller kravene i den europeiske klimaloven og Parisavtalen (European Scientific Advisory Board on Climate Change, u.d.).

Anbefalinger knyttet til etablering av klimamål og framskrivinger mot 2050

Ifølge EUs klimalov skal Europakommisjonen foreslå et klimamål for 2040 for EU samlet sett, innen første halvdel av 2024, i tillegg til et anslag på utslippsbudsjett for EU for perioden 2030-2050. EUs vitenskapsråd publiserte i 2023 en innledende tilbakemelding til Europakommisjonen om nevnte tematikk (European Scientific Advisory Board on Climate Change, 2023). Vitenskapsrådet anbefaler at analysene som skal gjennomføres hensyntar følgende fem temaer:

1. vitenskapelig og rettslig kontekst
2. fysiske begrensninger på globale utslipp og EUs «rettferdige andel»
3. transformasjonsscenarioer mot netto nullutslipp innen 2050 for EU
4. implikasjoner av ulike veivalg i form av positive og negative utilsiktede virkninger, motstandsdyktighet og gjennomførbarhet
5. vurderinger basert på verdier, spesielt i tilfeller der det er spenninger mellom ulike forhold og prinsipper

Vurderingene og anbefalingene knyttet til punkt 3, transformasjonsscenarioer mot netto nullutslipp innen 2050 for EU, er relevant i konteksten til denne rapporten. Se rapporten for anbefalinger knyttet til de øvrige punktene.

For å forstå hvordan utslippene kan reduseres i tråd med EUs mål, er det ifølge vitenskapsrådet behov for informasjon om hvordan sektorer og globale regioner interagerer og konkurrerer over flere tiår med dyp transformasjon. **Integrerte scenarioer** gir noe av den relevante informasjonen som trengs. Samtidig er litteraturen på feltet omfattende. Vitenskapsrådet presiserer at det er avgjørende å ta i bruk scenariofunnsom er så oppdatert som mulig på teknologikostnader, dagens politikk og andre globale og regionale trender. Scenarioene, herunder fra IPCC AR6s scenario database, bør vurderes av eksperter før eventuell bruk. I tillegg bør man vurdere hvorvidt utvalget av eksisterende scenarioer blant annet kan under- eller overvurderer mulige utslippsreducerende tiltak. Funns fra scenarioanalysene bør derfor også kombineres med annen type kunnskap. Vitenskapsrådet presiserer også at det er hensiktsmessig å kombinere funns fra scenarioer med et integrert tverrsektorielt perspektiv med scenarioer som ser på enkelt sektorer i detalj.

Rådet anbefaler å kombinere modelleringsresultater fra scenarioer med et integrert perspektiv, ofte modellert med **integrerte vurderingsmodeller (IAMs)**, med sektorspesifikke perspektiver, ofte modellert med **«bottom-up»-modeller**. IAM-modeller gir et omfattende og dynamisk perspektiv på ulike utslippsreducerende tiltak gitt forskjellige forutsetninger. Disse modellene gjør avveininger av utslippsreducerende tiltak basert på typen tiltak og når de implementeres, og gjør dette på tvers av sektorer og regioner. «Bottom-up»-modeller er basert på

⁴² *European Scientific Advisory Board on Climate Change.*

ingeniør-økonomiske analyser og gir teknologisk detaljerte tiltaksstrategier med fokus på en spesifikk sektor eller undersektor.

Modelltilnærmingene har grunnleggende forskjeller og tjener ulike formål, noe som vanskeliggjør sammenligning av resultatene. Reduksjonspotensialet for utslipp blir ofte undervurdert i IAM-modeller sammenlignet med bottom-up-modeller da bottom-up-modellene identifiserer muligheter for utslippsreduksjon IAM-modeller ikke fanger opp. På den andre siden tar IAM-modeller hensyn til systeminteraksjoner hvor flere sektorer er avhengig av de samme begrensede ressursene. Bottom-up-modeller tar ikke hensyn til dette og kan derfor gi i overkant optimistiske resultater. På grunn av modellenes iboende forskjeller anbefaler EUs vitenskapsråd en kombinert modelltilnærming. Modellene gir komplementære innsikter som kombinert kan styrke vitenskapelig forståelse.

Anbefalinger knyttet til scenarioanalyser av energiforsyning og -etterspørsel

De europeiske nettverkene av overføringssystemoperatører for elektrisitet (ENTSO-E) og gass (ENTSO-G) er ansvarlige for utvikling av scenarioer for framtidig energiforsyning og -etterspørsel. I den forbindelse har EUs energibyrå (ACER) utarbeidet en scenario-guide (TYNDP Scenarios Guidelines) for hvordan scenarioanalyser bør utføres (Regulators, 2023). Guiden var ute på offentlig høring i oktober 2022 og ble vedtatt i januar 2023. Under høringsprosessen kom blant annet EUs vitenskapsråd for klimaendringer med anbefalinger til utførelse av guiden (European Scientific Advisory Board on Climate Change, 2022).

Anbefalinger fra EUs vitenskapsråd for klimaendringer

Vitenskapsrådet presenterte seks anbefalinger under høringen:

1. «Scenarioer bør justeres etter behov for å forbli kompatible med EUs klima- og energimål, og modelleres minst frem til 2050.»
2. «Scenarioer bør fange et spekter av klimanøytralitetsbaner som reflekterer de varierende effektene av nøkkeldrivere for infrastrukturutvikling.»
3. «Utvikling av scenarioer bør inkludere fremtidige klimaprojeksjoner og deres påvirkning på energiinfrastrukturens motstandsdyktighet.»
4. «Scenarioer bør konstrueres ved bruk av en integrert byggekloss-tilnærming.»
5. «Antakelser bør baseres på oppdatert, vitenskapelig solid og fremtidsrettet informasjon.» (European Scientific Advisory Board on Climate Change, 2022)



Menon Economics analyserer økonomiske problemstillinger og gir råd til bedrifter, organisasjoner og myndigheter. Vi er et medarbeidereiet konsultentselskap som opererer i grenseflatene mellom økonomi, politikk og marked. Menon kombinerer samfunns- og bedriftsøkonomisk kompetanse innenfor fagfelt som samfunnsøkonomisk lønnsomhet, verdsetting, nærings- og konkurranseøkonomi, strategi, finans og organisasjonsdesign. Vi benytter forskningsbaserte metoder i våre analyser og jobber tett med ledende akademiske miljøer innenfor de fleste fagfelt. Alle offentlige rapporter fra Menon er tilgjengelige på vår hjemmeside www.menon.no.