

SOLVEIG GLOMSRØD

Seniorforsker, CICERO Senter for klimaforskning

LARS LINDHOLT

Seniorforsker, Statistisk sentralbyrå

TAOYUAN WEI

Seniorforsker, CICERO Senter for klimaforskning



# Farvel til en fossil æra? IEAs Net Zero by 2050-scenario<sup>1</sup>

Norge har sluttet seg til Parisavtalen og 1,5 °C-målet, som innebærer at verden må nå netto null utslipp av CO<sub>2</sub> innen midten av dette århundret. Norsk økonomi lener seg fortsatt tungt på olje- og gassinntekter med et betydelig innslag av ressursrente. Dermed blir det et viktig spørsmål for Norge hvor raskt det grønne skiftet snevrer inn etterspørselen etter olje og gass, og om det vil bli rom for å opprettholde noe produksjon av petroleum omgjort til lavutslippsenergi ved hjelp av karbonfangst og -lagring.

På grunn av sin rolle som observatør og analytiker av energimarkeder og teknologi på global basis er IEAs scenarioer ofte tydeligere enn andre når det gjelder næringsspesifikke særtrekk og teknologivalg. Det gjør IEAs netto null-utslippsscenario som kan lede til 1,5 °C-målet til et nyttig utgangspunkt for å diskutere realismen i og utsikter for det grønne skiftet.

Denne artikkelen gir en oversikt over IEAs netto null-utslippsscenario, med forutsetninger om bruk av virkemidler, teknologisk utvikling, økonomisk vekst og energibruk langs utviklingsbanen. Perspektivet er globalt, men vi peker på noen muligheter som åpner seg for Norge på veien til 1,5 °C- målet.

## IEAs NET ZERO EMISSION SCENARIO

Scenarier utvikles av internasjonale organisasjoner, miljømyndigheter og petroleumsselskaper. Det internasjonale energibyrået (IEA) står sentralt i dette arbeidet. IEA ble

opprettet av en gruppe industriland i forbindelse med oljekrisen 1973/1974 for å sikre oljetilførselen. I dag er arbeidsområdet utvidet til sikkerhet og bærekraft i energitilførselen, og har tilslutning fra en rekke store utviklingsøkonomier. Boks 1 skisserer hovedtrekk ved IEAs scenarioprofil i det siste tiåret.

<sup>1</sup> Takk for gode kommentarer fra Samfunnsøkonomens anonyme konsulent og redaktør Lars-Erik Borge, og for innspill fra Knut Einar Rosendahl og Ådne Cappelen. Arbeidet er finansiert av Norges Forskningsråd.

### Boks 1: IEAs scenarier

Alle WEO-rapportene fra og med 2010 bygger referansescenarioet på de enkelte lands signaliserte klimapolitikkpolitikk og forpliktelser til utslippsreduksjoner. IEA (2021b) utvider bildet og skiller mellom 4 scenarier: Stated Policies Scenario er referansescenarioet som gjenspeiler de enkelte lands gjeldende og signaliserte klimapolitikk. Announced Pledges Scenario inneholder i tillegg de enkelte lands løfter om mer langsiktige klimamål, som netto nullutslipp. I Sustainable Development Scenario (SDS) oppnår man FNs bærekraftsmål, som universell tilgang til energi og forbedringer i luftkvalitet. Globalt netto nullutslipp nås innen 2070. Disse 3 scenarioene sees i forhold til Net Zero Emission (NZE) scenarioet, som beskriver en vanskelig, men mulig vei der den globale energisektoren oppnår netto nullutslipp av CO<sub>2</sub> innen 2050 (IEA, 2021a).

Det internasjonale energibyrået (IEA) presenterer årlig sine perspektiver på energiutviklingen i verden og ulike spesialrapporter om energimarkeder og energi-teknologi. IEA bruker en partiell modell for energimarkedene, med relativt detaljert beskrivelse av alternative energiteknologier. Siden 2010 har referansescenariene i IEAs World Energy Outlook vært basert på landenes egen politikk og forpliktelser om utslippsreduksjoner. I rapporten Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector (IEA, 2021a) er imidlertid ikke hovedscenarioet forankret i landenes uttalte energi- og miljøpolitikk. I stedet leverer IEA et scenario etter egen regi som realiserer netto nullutslipp av karbondioksid (CO<sub>2</sub>) fra globalt energiforbruk i 2050, en forutsetning for å nå 1,5 °C-målet uten eller med bare begrenset overskridelse av temperaturmålet. IEA presenterer en gjennomførbar og konsistent vei til målet, basert på sitt omfattende og modellbaserte rammeverk, samtidig som politiske løfter plasseres på sidelinjen.

Ved lanseringen av rapporten slo IEAs direktør Fatih Birol fast at hvis regjeringer mener alvor med klimakrisen, er det ikke behov for nye investeringer i olje, gass eller kull fra 2021 (The Guardian, 2021).

Mange har sett på IEA som tradisjonelt tett på fossilindustrien og tilbakeholden med å kartlegge og kommunisere potensialet for fornybar energi (Mohn, 2016; Stern, 2017). Derfor hevet mange øyenbrynet over budskapet fra

IEA, som de senere årene har vist økende bekymring for klimaendringer, noe som nå gjenspeiler seg i deres netto null-utslippsscenario -Net Zero Emission (NZE) scenario. Det tok imidlertid 6 år fra Parisavtalen ble inngått i 2015 til IEA responderte på generell svak internasjonal oppfølging og forholdt seg til mulighetsområdet for alternativ klimapolitikk.

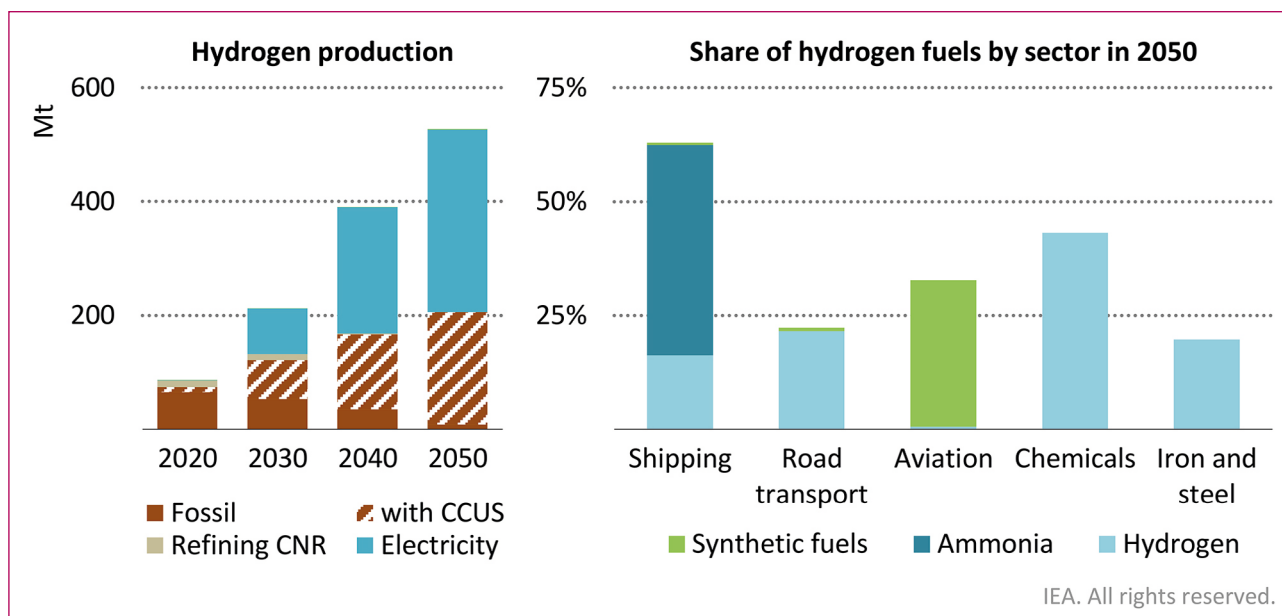
I NZE-scenarioet demonstrerer IEA en mulig vei til målet, samtidig som de også sender et tydelig signal til fossilindustrien og investorer om at feilinvesteringer eller «stranded assets» kan unngås.

### KLIMAMÅLET

Det langsiktige målet i Paris-avtalen (UNFCCC, 2017) er å holde økningen i global gjennomsnittstemperatur godt under 2 °C, samtidig som verdens nasjoner gjør anstrengelser for å begrense oppvarmingen til 1,5 °C over førindustrielt nivå innen 2100. På det 26. møte mellom partene i Klimakonvensjonen i Glasgow ble 2 °C-målet skjerpet til 1,5 °C (UNFCCC, 2021). Økende konsentrasjon av CO<sub>2</sub> i atmosfæren er den viktigste driveren bak global oppvarming. Derfor er det viktig å redusere menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslipp som vil bidra til global oppvarming i tusenvis av år. Fossil energibruk er hovedkilden til CO<sub>2</sub>-utslipp, og en omlegging av energisektoren – det grønne skiftet – er derfor nøkkelen til å bekjempe global oppvarming.

Reduksjon av utslipp fra økonomisk virksomhet kan skje ved å redusere omfanget av økonomiske aktiviteter, såkalt degrowth eller nedvekst. Det andre alternativet er decoupling eller frakopling ved å redusere utslipp fra en gitt økonomisk aktivitet uten å begrense selve aktiviteten.

Nedvekst betyr færre tilgjengelige varer og tjenester til å dekke etterspørsel og opprettholde velferd. I begrenset omfang kan imidlertid nedvekst tenkes å gi et sosialt akseptabelt velferdstap, for eksempel ved å eliminere overdrevent forbruk i et allerede velstående samfunn. Ved frakopling er målet rettet mot selve utslippet, slik at økonomiske fordeler stort sett kan opprettholdes, mens utslippene avtar gjennom høyere energieffektivitet og et skift bort fra materialer, produkter og tjenester med høye utslipp. En spesiell form for frakopling er såkalte negative utslippsteknologier, hvor for eksempel CO<sub>2</sub> i luft tas opp i vegetasjon som brukes til bioenergi med CO<sub>2</sub>-fangst for lagring i egnede geologiske strukturer (carbon capture and storage, CCS).



Figur 1: Produksjon og forbruk av hydrogen etter sektor. 2050. Millioner tonn. Prosent.

Kilde: Figur 3.8, IEA (2021a).

Nedvekst har imidlertid marginal politisk støtte, og grønn omstilling krever derfor tiltak for frakobling av utslipp fra økonomisk aktivitet.

#### GLOBALT ENERGIFORBRUK LANGS IEAs NZE-SCENARIO

NZE-scenariet skisserer et veikart til 1,5 °C-målet, og representerer ett, men ikke det eneste mulige scenariet som kan innfri Parisavtalen.

NZE bygger sin energi- og utslippsbane mot 2050 på antakelsen om at markedspriser balanserer tilbud og etterspørsel av energi, basert på produksjonskostnader, CO<sub>2</sub>-avgifter og andre politiske tiltak, samt inntekt og preferanser som bestemmer konsumentenes betalingsvillighet for energi.

I 2030 er global energibruk i NZE allerede 7 prosent lavere enn i 2020, et nivå som opprettholdes til 2050, delvis som resultat av forventet rask energieffektivisering på mer enn 3 prosent årlig og godt over historiske nivåer. Fram mot 2050 vil innføring av betydelig mer fornybar elektrisitet, men også noe kjernekraft, redusere andelen fossilt brensel fra 80 til 20 prosent av globalt energiforbruk. CO<sub>2</sub>-utslipp fra de resterende 20 prosent fossil energi reduseres ved karbonfangst og lagring (CCS) eller kompenseres med negative utslipp (netto fangstteknologier).

Den markerte reduksjonen i energibruk skjer til tross for en årlig global økonomisk vekst på 3 prosent i gjennomsnitt, som er på samme nivå som vekstvurderingen til Det internasjonale pengefondet (IMF, 2020). Det er derfor ingen nedvekst bakt inn i NZE-scenariet på globalt nivå. Det er imidlertid en svakhet ved IEAs partielle modell at endringene i energi- og klimapolitikk ikke påvirker den økonomiske veksten i NZE. Dette kommer vi tilbake til.

Selv om global vekst opprettholdes, vil det grønne skiftet medføre betydelige forskjeller i makroøkonomisk utvikling mellom land. Fall i produsentpriser på fossil energi vil medføre lavere BNP, særlig i de store olje- og gasseksporterende landene i Midtøsten, Russland og ved Det Kaspiske hav, hvor også petroleumsinntekter dekker en vesentlig del av offentlige utgifter. Vekst i sol- og vindenergi åpner for langt mer desentralisert energiproduksjon i verden.

NZE-banen avhenger av rask elektrifisering av sluttforbruket, for eksempel innen transport. Vind, sol, vannkraft og kjernekraft vil levere 90 prosent av verdens elektrisitetsforbruk i 2050, mot bare 29 prosent i 2020. Årlig vekst i elektrisitetsforsyningen er 3,2 prosent, betydelig høyere enn årlig vekst i perioden 2010–2020 på 2,3 prosent.

Imidlertid er elektrifisering en umoden teknologi i noen anvendelser, ofte innen transport, der NZE-scenariet er

avhengig av lavkarbonenergi som hydrogen med CCS og biodrivstoff for avkarbonisering.

En begrenset produksjon av hydrogen i 2020 6-dobles fram mot 2050 (Figur 1). I sluttforbruket<sup>2</sup> inngår ren hydrogen-gass og andre hydrogenbaserte brenslar som ammoniakk, syntetisk olje og syntetisk metan. Syntetisk olje og metan dannes ved å tilsette CO<sub>2</sub> til hydrogen, og kilden til CO<sub>2</sub> avgjør hvor bærekraftig disse drivstoffene er. Bruksområdene begrenser seg til der hvor det er få alternative kilder til lavkarbonenergi. Ammoniakk produseres ved å tilsette nitrogen til hydrogen og medfører ingen ekstra CO<sub>2</sub>-utslipp. I 2050 står hydrogen og ammoniakk for 63 prosent av drivstoffet innen skipsfart, hovedsakelig i form av ammoniakk, og 33 prosent i luftfart i form av syntetisk olje (parafin).

Hydrogen bidrar også til å nå NZE-målet ved å erstatte kull som reduksjonsmiddel i prosessindustri, hovedsakelig stål og kjemisk industri. I 2050 produseres nesten alt hydrogen med fornybar elektrisitet ved elektrolyse (grønn hydrogen) eller fra fossil energi med CCS. Interessen for hydrogen basert på naturgass med CCS (blå hydrogen) er stor og skyldes potensialet for relativt store volumer på mellomlang sikt, mens kapasiteten for elektrolyse fortsatt er begrenset.

Store markeder for varme i nordlige regioner har allerede distribusjonsnett for naturgass til oppvarming av boliger og kontorer, hvor hydrogen kan blandes inn og redusere karbonutslipp fra et stort antall spredte utslippskilder innenfor en relativt kort tidshorisont. Så langt indikerer prosjekter at en innblanding av 20–30 prosent hydrogen er mulig (IEA, 2019). Denne muligheten kan være en viktig drivkraft for oppskalering av hydrogenproduksjon og realisering av tilhørende kostnadsreduksjoner.

I dette markedet har imidlertid bioenergi en enda større fordel, ettersom biometan kan blandes sømløst inn i både distribusjonsnettene og eksisterende sluttbruker-teknologier, og forventes å kunne nå 80 prosent innblanding innen 2050.

Kostnaden for å transportere hydrogen er høy. Derfor er handel med hydrogen begrenset, og produksjon og bruk har hovedsakelig vært knyttet til industrielle klynger.

<sup>2</sup> Omfatter ikke hydrogen produsert og anvendt innen samme industrielle enhet.

Når volumet i etterspørselen skaleres opp, kan midlertid hydrogen transporteres til relativt lave kostnader over store avstander i eksisterende rørledninger, som åpner for mer interregional handel. En annen mulighet er sjøtransport. Nedkjøling til flytende hydrogen for transport med skip forbruker imidlertid energi tilsvarende 25–35 prosent av energien i hydrogenet. Et alternativ er omdanning til ammoniakk, som krever langt mindre nedkjøling til flytende tilstand enn hydrogen (IEA, 2019).

Hydrogen kan også omdannes kjemisk og gjøres flytende ved normale temperaturer. En ny metode reformerer hydrogen-gassen integrert i elektrolyse-prosessen og reduserer kostnaden ved reformering og dermed også for transport av grønn hydrogen. Teknologien muliggjør bruk av samme infrastruktur for transport og lagring som olje (ENEOS og Japan Ministry of economy trade and industry, 2021).

Biodrivstoff og hydrogen kan begge avkarbonisere transport, men biopotensialet som NZE-scenariot ser for seg, er begrenset på grunn av krav til bærekraft. Bruk av biodrivstoff mer enn 4-dobles i løpet av 2020–2030, men øker deretter bare med to tredeler fram mot 2050 til 6 prosent av totalt energiforbruk (Tabell 1). Sluttforbruket av hydrogenbasert energi femdobles fra 7 EJ (Eta Joule) til 34 EJ i løpet av 2030–2050, til 9 prosent av energiforbruket i 2050.

Tabell 1: Sluttforbruk av hydrogenbaserte brenslar og biodrivstoff. EJ.

	2020	2030	2040	2050
<b>Biodrivstoff i alt</b>	3	14	19	23
– Biometan	0	2	5	8
– Biooljer	3	12	14	15
<b>Hydrogenbasert brensel i alt</b>	0	7	17	34
– Hydrogen*	0	6	12	20
– Syntetisk metan	-	0	1	4
– Ammoniakk	-	1	3	5
– Syntetiske oljer	-	0	2	5

\* Omfatter ikke hydrogen produsert og anvendt innen samme industrielle enhet.

Kilde: Tabell A.2, Annex A, IEA (2021a).

Praktisk talt alt flytende og gassformig biodrivstoff brukes i transport. For tiden er biodrivstoff basert på avlinger som sukkerrør, mais eller oljevekster, som konkurrerer med matproduksjon om et begrenset areal med dyrkbar jord.

Biodrivstoff produsert på matjord regnes ikke som bærekraftig og fases ut over tid, mens bærekraftig biodrivstoff basert på avfall og vegetasjonsrester fra jord- og skogbruk overtar, såkalt 2. generasjon (cellulosebasert) biodrivstoff. Avfallspotensialet er begrenset, og NZE tillater ingen økning i bruk av dyrket mark for bioenergi.

Mer enn 50 prosent av produksjonen av bio-oljer kombineres med CCS i 2050. CCS gjør bio-oljer til en negativ utslippsskilde med årlig CO<sub>2</sub>-fangst og lagring av 0,6 Gt<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> i 2050.

Tabell 2: *Bruk av fast biobrensel. EJ.*

	2020	2030	2040	2050
Fast biobrensel i alt	39	24	25	25
Industri og elektrisitetsproduksjon	9	15	19	20
Bygninger/husholdninger, moderne bioenergi	5	9	7	6
Bygninger/husholdninger, tradisjonell bioenergi	25	0	0	0

Kilde: Tabell A.2, Annex A, IEA (2021a)

Hele 90 prosent av sluttforbruket av bioenergi i 2020 var fast biomasse, hvorav 40 prosent til såkalt tradisjonell bruk i ineffektive ovner eller åpen ild med store partikkelutslipp og tilhørende alvorlige helseskader (Tabell 2). NZE forutsetter at alle land introduserer effektive ovner (moderne bioenergi) i perioden 2020–2030, mens tradisjonell bioenergi fases helt ut fra 2030. Bruken av fast biomasse totalt avtar dermed markert fra 2020 til 2030, ettersom forbedrede ovner krever mindre bioråstoff enn de tradisjonelle for samme oppvarmings-tjeneste. I løpet av 2030–2050 holder bruken av fast biomasse seg omtrent konstant. Biomasse genererer mer enn 4 ganger så mye elektrisitet i 2050 som i 2020 og står for 5 prosent av elektrisitetsproduksjonen globalt i 2050, hvorav 1 prosent med CCS. Biomasse brukes i spesialiserte biokraftverk, men også som fornybart supplement i kullbaserte kraftverk for å redusere utgifter til CO<sub>2</sub>-avgift eller kjøp av kvoter. Hydrogen og biodrivstoff spiller en viktig rolle i å framskynde avkarbonisering av transport, men elektrifisering er helt klart den viktigste motoren i NZEs visjoner for det grønne skiftet.

<sup>3</sup> 1 Gt (Gigatonn) tilsvarer 1 milliard tonn.

## HVORDAN KOMMER IEA-NZE I MÅL?

NZE bygger en plattform for framtidige utslippsreduksjoner ved umiddelbart å blokkere investeringer i ny fossil energi og kullbaserte kraftverk uten CCS, fjerne subsidier til kull, olje og gass og raskt fase ut ineffektiv bruk av bioenergi i tradisjonelle ovner eller åpen ild.

Fjerning av subsidier<sup>4</sup> til fossile brenslere har stor betydning for overgang til lavkarbonenergi. IMF anslår at dagens priser på kull, olje og naturgass utgjør omtrent halvparten av den reelle kostnaden, dette gjelder for praktisk talt alt kull og halvparten av all olje og naturgass (IMF, 2021). 8 prosent av subsidiene er eksplisitt støtte, mens de resterende 92 prosent er miljøkostnader og andre samfunnsøkonomiske kostnader som ikke er innbakt i brukerprisen. Underprising av lokal forurensning og klimakostnader er de to største elementene, med henholdsvis 42 prosent og 29 prosent av globale subsidier i 2020. Fem land står for to tredjedeler av subsidiene: Kina, USA, Russland, India og Japan. Globalt blir subsidiene til fossilt brensel beregnet til USD 5 900 milliarder i 2020, om lag 6,8 prosent av verdens BNP.

Utover denne plattformen videreføres den grønne omstillingen for en stor del av energieffektivisering markert over historisk trend, CO<sub>2</sub>-avgifter og atferdsendring.

Framskredne økonomier innfører CO<sub>2</sub>-avgifter for elektrisitetsproduksjon, industri og transport. CO<sub>2</sub>-avgiften økes til 130 USD/tCO<sub>2</sub> innen 2030 og videre til 250 USD/tCO<sub>2</sub> innen 2050. I de store økonomiene Kina, Brasil, Russland og Sør-Afrika øker CO<sub>2</sub>-avgiften til 200 USD/tCO<sub>2</sub> innen 2050. I alle andre regioner er CO<sub>2</sub>-avgiftene markant lavere på 3–55 USD/tCO<sub>2</sub>, mens direkte reguleringer dominerer det grønne skiftet i disse landene.

I tillegg til CO<sub>2</sub>-avgiftene er det en rekke andre tiltak som driver avkarboniseringen. NZE-rapporten peker på innblandingskrav for fornybart drivstoff, effektivitetsstandarder, markedsreformer og forskning. Direkte regulering av teknologier innføres for å elektrifisere kjøretøy og øke bruken av lavkarbondrivstoff i luftfart og skipsfart. I 2030 utgjør elektriske biler så mye som 60 prosent av det globale bilsalg.

Årlige investeringer i solceller og vindkraft øker kapasiteten med ca. 1020 GW årlig, og legger grunnlaget for glo-

<sup>4</sup> IMF (2021) definerer subsidier som underprising i forhold til effektiv pris (markedspris pluss miljøkostnader per enhet, inkl. forbrukskatter).

balt netto null-utslipp i framskredne økonomier. I 2035 er ingen nye diesel- og bensinbiler i salg globalt.

Teknologier som er tilgjengelige i dag kan gi nødvendige utslippsreduksjoner fram til 2030, men omtrent halvparten av utslippsreduksjonene i 2050 må komme fra teknologier som ennå er på prototyp- eller demonstrasjonsstadiet.

Så mye som 90 prosent av energiintensiv industri baserer seg på lavutslippsenergi i 2050, mens 70 prosent av den globale elektrisitetsproduksjonen dekkes av sol og vind. Prisen på solenergi er allerede i dag nede på nivå med produksjonskostnaden for kullkraft uten CCS. På kort til mellomlang sikt kan det være en kostnadsforskjell i disfavør av grønn energi, men NZE forutsetter at regjeringer i framskredne økonomier vil subsidiere fornybar energi.

Atferdsendringer antas å redusere utslippene med nesten 3Gt CO<sub>2</sub> i 2050. NZE-rapporten skiller mellom atferdsendring stimulert eller pålagt av myndighetene og atferdsendring initiert av selskaper eller husholdninger.

Tre fjerdedeler av utslippsreduksjonene fra atferdsendringer avhenger av myndighetenes politikk. 10 prosent av disse utslippsreduksjonene krever investeringer i infrastruktur, for eksempel ved overgang fra regionale flyvninger til høyhastighetstog. Den resterende fjerdedelen forutsetter frivillig og ubetinget atferdsendring i befolkningen. Forskjellen mellom virkningene av teknologidrevet og frivillig atferdsendring er imidlertid ikke klar.

**HVA SKILLER IEA-NZE FRA IPCCs VEIER TIL 1,5 °C?** IEA NZE-scenarioet følger en annen bane mot 1,5 °C enn mange scenarioer utviklet for IPCCs spesialrapport om veier til 1,5 °C (Masson-Delmotte mfl., 2018). Spesialrapporten inneholder 18 scenarioer med samme mål om netto null-utslipp som NZE-scenarioet i 2050. En sammenlikning med disse scenarioene viser at det totale sluttforbruket av energi i NZE ligger i den lave enden av skalaen blant de 18 IPCC-scenarioene og bare moderat over scenarioet med det laveste sluttforbruket (Figur 2). For utbygging av vind- og solenergi er NZE-scenarioet nummer 5 blant toppscenarioene.

Sluttforbruket av hydrogen i NZE overgås bare av to IPCC-scenarioer, mens de fleste andre har betydelig lavere innslag av hydrogen. På den annen side bidrar bioenergi i NZE minst av alle til totalt energiforbruk på grunn av hensyn til bærekraft. Det markerte innslaget av grønn hydrogen samt

vind- og solenergi i NZE gjenspeiles i det beskjedne behovet for karbonfangst og -lagring. Bare 7,6 Gt CO<sub>2</sub> fanges og lagres i NZE i 2050, det nest laveste blant alle scenarioene, tilsvarende 22 prosent av globale utslipp av CO<sub>2</sub> i 2020.

For negative utslippsteknologier ligger NZE lavest blant alle. Negative utslipp i form av direkte fangst og lagring av CO<sub>2</sub> fra luft og fra bioenergi med CCS kompenserer for utslipp fra noe gjenværende bruk av fossilt brensel, blant annet til produksjon av blå hydrogen i 2050.

NZE-scenarioet er klart mindre avhengig av negative utslipp enn scenarioene i IPCCs spesialrapport om 1,5°C.

#### UTSIKTER FOR NORGE I DET GRØNNE SKIFTET

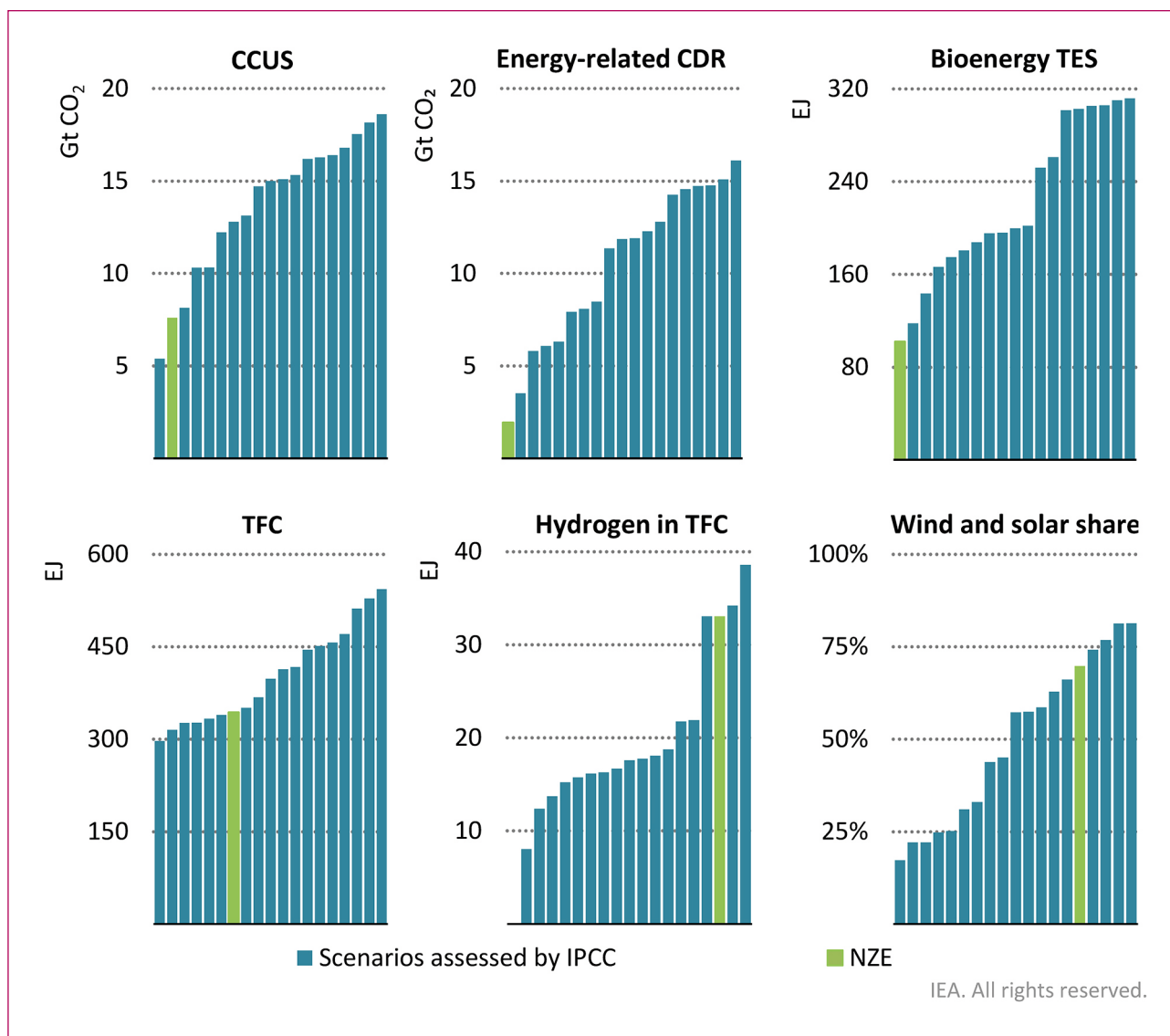
Norge er utstyrt med et bredt spekter av energiressurser; vannkraft, petroleum, bioenergi og vind og sol. Selv om bruken av fossil energi skal fases ut, kan Norge opprettholde sin evne til å møte innenlands etterspørsel og eksportere energi eller energiintensive produkter. Det norske energisystemet forventes å bli enda sterkere knyttet til det europeiske energimarkedet framover, noe som vil påvirke innenlandske priser og sammensetningen av energitilbudet.

For tiden er Norge sterkt avhengig av petroleumssektoren. NZE-scenarioet krever slutt på godkjenning av nye olje- og gassfelt fra 2021. Foreløpig følger ikke norske myndigheter en slik politikk.

Imidlertid ser NZE-scenarioet noe fossil energi med CCS som en del av løsningen på klimautfordringen, og 20 prosent av globalt energiforbruk i 2050 vil fortsatt bestå av fossil energi, men nå hovedsakelig som lavkarbonenergi med CCS. Selv om det er kontroversielt, kan norske myndigheter regne med å bidra til dette tilbudet av lavkarbonenergi i form av blå hydrogen basert på naturgass.

Norge har et betydelig potensial for produksjon av både blå hydrogen fra naturgass og grønn hydrogen ved bruk av fornybar energi til elektrolyse.

Blå hydrogen kan levere relativt store volumer i en ikke så fjern fremtid, og gjør det mulig å erstatte kull med hydrogen i industrielle prosesser. Kostnaden for blå hydrogen med CCS anslås å være lavere enn for grønn hydrogen på mellomlang sikt, og petroleumsindustrien anser Norge for å være i en god posisjon som naturgassprodusent med erfa-



Figur 2: Sammenligning av utvalgte indikatorer i scenarier fra IPCCs spesialrapport og NZE i 2050.

CCUS = karbonfangst, utnyttelse og lagring; CDR = direkte fjerning av karbon; TES = total energiforsyning; TFC = totalt sluttforbruk. Energirelatert CDR inkluderer CO<sub>2</sub> fanget gjennom bioenergi med CCUS og direkte luftfangst med CCUS og lagret permanent. Andel vind- og solenergi er oppgitt i prosent av total elektrisitetsproduksjon. Bare 17 av de 18 scenariene vurdert av IPCC rapporterer hydrogenbruk i TFC. Kilde: s. 63 i IEA (2021a)

ring innen karbonfangst og -lagring (f.eks. fra gassfeltene Sleipner og Snøhvit). I NZE er nesten all hydrogenproduksjon basert på lavkarbonteknologier innen 2050, med 60 prosent fra elektrolyse og 40 prosent fra naturgass med CCS.

Rørledningstransport er det rimeligste alternativet for hydrogentransport og Norge kan bruke eksisterende naturgassrørledninger til kontinentet.

Mens norsk petroleumsproduksjon går til eksport, dominerer fornybar vannkraft innenlands produksjon og forbruk av elektrisitet. Selv om det er kontroversielt fra miljøsynspunkt, er det fortsatt et potensial for videre vekst innen vannkraft, blant annet ved oppgradering av eksisterende vannkraftverk. Eksport utgjør i gjennomsnitt rundt 10 prosent av elektrisitetsproduksjonen, men andelen varierer en del.

I 2021 bidro vindkraft med 8 prosent til samlet elektrisitetsproduksjon i Norge, og det grønne skiftet vil øke denne

andelen framover. Som svar på økonomiske insentiver i form av grønne sertifikater (Wikipedia, 2022) har det vært betydelige investeringer i vindkraft på land. Imidlertid har lokal motstand, blant annet fra reindriftsnæringen, vært sterk, og ytterligere utbygging vurderes på nytt i lys av en fersk høyesterettsdom til fordel for samenes beiterettigheter (Norges Høyesterett, 2021).

Potensialet for vindkraft på land er størst i Sør-Norge med 25–45 TWh forutsatt en el-pris på 40–50 øre per kWh. Det fysiske vind-potensialet i Midt- og Nord-Norge er langt større enn i sør, men lavere regionalt strømforbruk, begrenset overføringskapasitet og mulig konflikt med miljøhensyn og beiterettigheter begrenser potensialet (Statnett, 2018).

Myndighetene satser nå på havvind, inklusiv flytende havvindmøller med teknologi utviklet for offshore petroleum. Potensialet for havvind er stort, og regjeringen har som ambisjon å tildele områder for 30 GW kapasitet, som kan produsere nesten like mye som samlet norsk el-produksjon i dag (Regjeringen, 2022).

I det grønne skiftet konkurrerer flere bruksområder om strøm, for eksempel elbiler og elektrifisering av offshore petroleumsplassformer. På grunn av en lang historie med rikelig og rimelig vannkraft i Norge er de fleste husholdninger avhengige av strøm til oppvarming av boliger. Geotermisk energi (bergvarme) kan gjøre mer elektrisitet tilgjengelig for transport. Norge produserer 3,5–4,0 TWh bergvarme per år, mens potensialet anslås av NVE til 33 TWh forutsatt el-pris på knapt 90 øre kWh, om lag 20 prosent av elektrisitetsproduksjonen i et normalår (Ramstad, 2011; Midttømme mfl., 2020).

Gjeldende politikk er presentert i handlingsplanen for omstilling av det norske samfunnet som helhet innen 2030 (Meld. St. 13 (2020–2021)). En overordnet føring for omstillingen er at karbonprisen (CO<sub>2</sub>-avgift, kvotepris i EU-ETS) for alle sektorer gradvis skal øke fra dagens nivå på om lag 590 kroner per tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (tCO<sub>2</sub>e) til 2000 kroner per tCO<sub>2</sub>e i 2030.

Elbiler har hatt betydelige avgiftsfritak, en politikk som fortsetter, selv om avgiftsfritaket for de dyreste kjøretøyene reduseres framover. Regjeringen fortsetter å subsidiere infrastruktur for lading (ENOVA, 2022), og en nasjonal ladestrategi er under arbeid.

Det tas flere initiativ for hydrogenproduksjon basert på fornybar elektrisitet, og regjeringen har signalisert vilje til å støtte og delta i denne utviklingen. Så langt har regjeringen bevilget 1 mrd. NOK til tre industriprosjekter for utvikling av nye hydrogenbaserte teknologier: blå ammoniakk som drivstoff, hydrogen til erstatning for kull i metallindustrien og overgang fra naturgass til grønn hydrogen i produksjon av ammoniakk og gjødsel (ENOVA, 2023).

Staten går inn i store prosjekter for grønne teknologier i samarbeid med næringslivet, for eksempel Langskip-prosjektet i samarbeid med Northern Lights<sup>5</sup> for å etablere en fullskala forsyningskjede for CCS, som dekker fangst, transport og lagring av CO<sub>2</sub> (Regjeringen, 2020). I første fase skal flytende CO<sub>2</sub> fra NORCEM sementfabrikk transporteres med skip til terminal på Vestlandet med rørledningsforbindelse til lagringssted under Nordsjøen, etterfulgt av tilsvarende opplegg for avfallsanlegget på Klemetsrud i Oslo (CCS Norway 2023).

Det innføres også andre virkemidler, som klimarelaterte krav i offentlige anskaffelsesprosesser, informasjon om klimavennlige alternativer, økonomisk støtte til utvikling av ny teknologi for energisparing og utslippsreduksjoner, samt initiativ for å fremme forskning og innovasjon.

## VEGKARTET OG TERRENGET

NZE-rapporten illustrerer at verden kan klare seg med svært begrenset bruk av fossil energi og likevel opprettholde vekst i den globale økonomien. Følgelig er det mulig å nå netto null-utslipp innen 2050. Dette krever imidlertid at alle nasjoner styrer energipolitikken mot grønne løsninger, inklusiv rask utfasing av all tradisjonell bruk av bioenergi og utstrakt bruk av beste tilgjengelige teknologier. Resultatet står og faller med om alle land innfører nødvendige reguleringer og insentiver for å realisere netto null-utslippsscenarioet. Ansvaret for å lykkes hviler på nasjonale myndigheter, ikke på manglende tekniske løsninger. Utøvende myndigheter får imidlertid støtte til gjennomføring av det grønne skiftet fra internasjonale investorer, som binder seg til ikke å investere i fossil energi og i stedet investere i grønne teknologier (Glomsrød og Wei, 2018).

NZE-scenarioet er bare ett av flere mulige veikart til netto nullutslippssamfunnet, men gir like fullt politikere og myndigheter et perspektiv på avveininger og løsninger på

<sup>5</sup> Equinor, Norske Shell og Total E&P Norge.



et overordnet nivå, som kanskje også er mindre farget av særinteresser hos involverte bransjer, som myndigheter oftest forholder seg til.

IEAs NZE-rapport beskriver et utfordrende, om ikke urealistisk, scenario som baserer seg på flere forutsetninger som lite trolig vil følge skjemaet til NZE. Som IEA selv påpeker, er NZE-veikartet «smalt, men fortsatt oppnåelig» under strenge forutsetninger, for eksempel at ingen investeringer i nye petroleumfelt eller kullgruver forekommer etter 2021, og videre, at alle utviklingsland går over fra tradisjonell til moderne bioenergi fra 2030.

Energiutviklingen er underlagt markedsinsentiver og politisk styring, hvor myndigheter kan forme rammebetingelsene. Dette gjelder ikke i samme grad for tradisjonell bruk av bioenergi. Hvis inntektene på landsbygda holder seg lav, kan ved og bio-rester fra landbruket fortsatt ha verdi, selv ved svært ineffektiv forbrenning. Om lag 40 prosent av verdens befolkning er avhengig av tradisjonell bioenergi, som utgjør 9 prosent av det globalt energiforbruk (Maserà mfl., 2015).

Det er også et åpent spørsmål om olje- og gassproduserende land er villige til å trappe ned sin produksjon. Hvis flere gjør som Norge og satser på å levere lavkarbonenergi basert på fossile brenslere, kan den fossile æraen trekke ut i tid. Spørsmålet blir hvor lenge den kan konkurrere mot grønn energi, og hvor mye stranded assets dette kan medføre. Stranded assets vil bidra til nedvekst som kan redusere velferd eller nødvendige investeringer i fornybar energi. Enkelte petroleumsselskaper binder derfor sin virksomhet til en plan for nedtrapping (Shell, 2021; ExxonMobil, 2022).

IEAs modell er partiell og beskriver først og fremst utviklingen i energimarkedene, drevet av eksogen BNP-vekst og optimalisering av energiproduksjonen for et sett av teknologier. Partielle energimodeller med spesielt detaljert beskrivelse av energiteknologi kalles ofte energisystemmodeller.

I partielle modeller er det ingen interaksjon mellom tilpasningen i energisektoren og resten av økonomien, som i realiteten påvirkes av endring i energimarkedene.

Generelle likevektsmodeller dekker hele økonomien og skaper vekst basert på tilgjengelig kapital, ressurser og teknologi. Et skift innen energiproduksjon og endring i ener-

gipriser m.m. leder dermed til omrokkeringer i andre næringer, og kan forsterke eller dempe effekten av et skift, slik det framkommer i en partiell modell.

IEAs modell fanger følgelig ikke opp det intrikate samspillet mellom økonomi og energimarkeder. Analysen kan derfor ha begrenset mulighet til å fange opp virkninger på energimarkeder og utslipp av tiltak som driver det grønne skiftet, for eksempel gjennom endringer i investeringer og kapitalintensitet.

Det er ikke nødvendigvis slik at tiltak innen NZE må ha store konsekvenser for inntekt. Hoel og Holtmark (2009) påpeker at klimascenarier i analyser av blant annet William Nordhaus og Nicholas Stern ikke påvirker framtidig vekst i særlig grad (selv med den tidens høye kostnader for fornybar energi).

Selv om global økonomisk vekst i NZE-scenarioet tilsvarer veksten i andre scenarioer som ofte refereres til, kan den regionale fordelingen av inntekt bli annerledes. Utfasing av fossil energi vil omfordele overskudd/rente fra fossilproduserende til fossilkonsumerende land. Norge er blant land som sannsynligvis vil se en markert reduksjon i petroleumsbasert ressursrente, men som kan være i posisjon til å høste økt ressursrente fra fornybar energi under den grønne omstillingen. Prosjektet «Stresstest av norsk økonomi under det grønne skiftet» studerer virkninger på norsk økonomi av global klimapolitikk (Boks 2).

### Boks 2: Stresstest av norsk økonomi

Prosjektet *Stresstest av norsk økonomi* beskriver mulige konsekvenser for norsk økonomi av at verden når netto null-utslipp i 2050. Prosjektet utvikler modeller der klimapolitikk og innfasing av ny energiteknologi påvirker energimarkedene og økonomisk utvikling globalt og regionalt. Realisering av netto null-utslipp vil ha store og gjennomgripende konsekvenser for energimarkedene, med både nye muligheter og begrensninger på industristruktur og norsk økonomi. Det grønne skiftet vil vri økonomien bort fra de tradisjonelle olje- og gassektorene til nye lavutslippsnæringer, som f.eks. produksjon av hydrogen med CCS. Prosjektet beskriver hvordan en slik omstilling vil påvirke investeringer og produksjon i andre deler av økonomien og det generelle velferdsnivået.

Andre faktorer enn priser og kostnader påvirker også tempoet i overgangen til lavkarbonenergi. Russlands invasjon av Ukraina har vekket til live tanker om økt selvforsyning av energi, og det raske fallet i kostnader for fornybar energi åpner for mer desentralisering av energiproduksjonen, og for mindre avhengighet av noen store energiprodusenter. Klimapolitikk, som ellers ikke står høyest på dagsordenen i mange land, kan dermed indirekte ha fått vind i seilene og gi langvarige og positive konsekvenser for det grønne skiftet.

## REFERANSER

- CCS Norway (2023). The CCS chain. <https://ccsnorway.com/full-scale-capture-transport-and-storage> (hentet 10.02.2023).
- ENEOS og Japan Ministry of economy trade and industry (2021). Focal point: Hydrogen energy in Japan. Advertisement feature. *Nature*, 24. mars 2021.
- ENOVA (2022). Enova støtter 70 nye ladestasjoner for elbiler. Deler ut 100 millioner i støtte. <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/enova-stotter-70-nye-ladestasjoner-for-elbiler-deler-ut-100-millioner-i-stotte?publisherId=17848299&releaseId=17941873&lang=no> (hentet 05.01.2023).
- ENOVA (2023). Tildeling av milliardstøtte til tre hydrogenprosjekter. <https://www.enova.no/bedrift/hydrogen/tildeling-av-stotte-til-flere-hydrogen-prosjekter> (hentet 10.02.2023).
- ExxonMobil (2022). ExxonMobil announces ambition for net zero greenhouse gas emissions by 2050. [https://corporate.exxonmobil.com/News/Newsroom/News-releases/2022/0118\\_ExxonMobil-announces-ambition-for-net-zero-greenhouse-gas-emissions-by-2050](https://corporate.exxonmobil.com/News/Newsroom/News-releases/2022/0118_ExxonMobil-announces-ambition-for-net-zero-greenhouse-gas-emissions-by-2050) (hentet 24.06.2022).
- Glomsrød, S. og T. Wei (2018). Business as unusual: The implications of fossil divestment and green bonds for financial flows, economic growth and energy market. *Energy for Sustainable Development* 44, 1–10.
- Hoel, M. og B. Holtmark (2009). Utviklingslandene bestemmer klimautviklingen. *Samfunnsøkonomen* 123 (7).
- IEA (2019). The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen> (hentet 27.01.2022).
- IEA (2021a). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (hentet 19.01.2021).
- IEA (2021b): World Energy Outlook 2021, International Energy Agency, OECD.
- IMF (2020). World Economic Outlook Database. Utgave april 2020.
- IMF (2021). Still Not Getting Energy Prices Right: A Global and Country Update of Fossil Fuel Subsidies. Working Paper, 40/2021.
- Masera, O. R. mfl. (2015). Environmental Burden of Traditional Bioenergy Use. *Annual Review of Environment and Resources* 40, 121–150.
- Masson-Delmotte, V. mfl. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Under utgivelse.
- Meld. St. 13 (2020–2021). Klimaplan for 2021–2030.
- Midttømme, K. mfl. (2020). Geothermal Energy Use in Norway, Country Update for 2015–2019. Proceedings, World Geothermal Congress 2020.
- Mohn, K. (2016). IEA sine energiutsikter: Bibel eller blendverk? *Samfunnsøkonomen* 130 (2).
- Norges Høyesterett (2021). Vedtak om konsesjon til vindkraftutbygging på Fosen kjent ugyldig fordi utbyggingen krenker reindriftssamenes rett til kulturutøvelse. <https://www.domstol.no/globalassets/upload/hret/avgjorelser/2021/oktober-2021/hr-2021-1975-s.pdf> (hentet 21.02.2022).
- Ramstad, R. K. (2011). Grunnvarme i Norge – kartlegging av økonomisk potensial. NVE-rapport 5/2011.
- Regjeringen (2020). The Government launches 'Longship' for carbon capture and storage in Norway. <https://www.regjeringen.no/en/historical-archive/solbergs-government/Ministries/smk/Press-releases/2020/the-government-launches-longship-for-carbon-capture-and-storage-in-norway/id2765288> (hentet 10.02.2023).
- Regjeringen (2022). Kraftfull satsing på havvind. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/kraftfull-satsing-pa-havvind/id2912297/> (hentet 24.06.2022).
- Shell (2021). Shell accelerates drive for net-zero emissions with customer-first strategy. <https://www.shell.com/media/news-and-media-releases/2021/shell-accelerates-drive-for-net-zero-emissions-with-customer-first-strategy.html> (hentet 24.06.2022).
- Statnett (2018). Økt vindkraftproduksjon og virkninger i transmisjonsnettet. Forskjeller i flyt, flaskehals og nettap ved ulik geografisk plassering. <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/2018-statnetts-delrapport-til-nasjonal-ramme-for-vindkraft.pdf> (hentet 24.06.2022).
- Stern, D. I. (2017). How accurate are energy intensity projections? *Climatic Change*, 143, 537–545.
- The Guardian (2021). No new oil, gas or coal development if world is to reach net zero by 2050, says world energy body. *The Guardian* 18. mai.
- UNFCCC (2017). The Paris Agreement. [http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9485.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php) (hentet 10.11.2017).
- UNFCCC (2021). Glasgow Climate Pact Decision 1/CMA.3. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Overarching\\_decision\\_1-CMA\\_3\\_1.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Overarching_decision_1-CMA_3_1.pdf) (hentet 24.02.2022).
- Wei, T. og Y. Liu (2017). Estimation of global rebound effect caused by energy efficiency improvement. *Energy Economics* 66, 27–34.
- Wikipedia (2022). Grønne sertifikater. [https://no.wikipedia.org/wiki/Grønne\\_sertifikater](https://no.wikipedia.org/wiki/Grønne_sertifikater) (hentet 24.06.2022).